

Aus dem Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie
der Universität zu Köln
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. David Maintz

Stellenwert sonographischer Verlaufskontrollen bei abdominell unauffälligen Patient*innen mit Polytrauma

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Marcel Sokolowski
aus Köln

promoviert am 24. Juni 2026

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachter: Professor Dr. med. Dr. N. Große Hokamp
2. Gutachter: Privatdozent Dr. med. T. Leschinger

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:

Herr Prof. Dr. Dr. med. Nils Große Hokamp
Herr PD Dr. med. Thorsten Lichtenstein
Herr PD Dr. med. Tobias Henning

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Der dieser Arbeit zugrunde liegende Datensatz wurde durch mich im Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie aus im klinischen Regelbetrieb akquirierten Daten, mithilfe der Software Orbis (Dedalus HealthCare GmbH, Bonn) zusammengetragen und ausgewertet.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 30.11.2025

Unterschrift:

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Dr. med. Nils Große Hokamp und PD Dr. med. Thorsten Lichtenstein für die gute Betreuung während des Projekts und die Einführung in das wissenschaftliche und klinische Arbeiten. Auch dem restlichen Team des Instituts für Diagnostische und Interventionelle Radiologie der Uniklinik Köln danke ich für die Unterstützung und Zusammenarbeit.

Ein ganz persönlicher Dank richtet sich an Daria für die gemeinsame Zeit, die vielen Wegmarken der letzten Jahre und die schönen Momente abseits des Schreibtischs.

Widmung

Ich widme diese Dissertation meiner Mutter Małgorzata Sokołowska. Du hast mir beigebracht, dass man alles erreichen kann, wenn man es nur wirklich will. Durch Deine Zielstrebigkeit, Zuversicht und Deinen Fleiß bist Du mir immer ein Vorbild. Dein Rückhalt und Glaube an mich sind meine größte Unterstützung.

Meiner Familie, insbesondere denen, die die Veröffentlichung dieser Arbeit nicht mehr erleben können. Meinen Großeltern Jan & Zofia Sztuczka, Franciszek & Maria Sokołowcy, meiner Tante Alina Sztuczka.

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1. ZUSAMMENFASSUNG	8
2. EINLEITUNG	9
2.1 Definition und Epidemiologie des Polytraumas	9
2.2 Scoring der Verletzungsschwere	9
2.2.1 „Abbreviated Injury Scale“	10
2.2.2 „Injury Severity Score“	11
2.2.3 „New Injury Severity Score“	12
2.2.4 „Glasgow Coma Scale“	13
2.3 Radiologisches Management des Polytraumas	14
2.3.1 Schockraumaktivierung	14
2.3.2 „Advanced Trauma Life Support“	15
2.3.3 „Focused Assessment with Sonography for Trauma“	16
2.3.4 Computertomographie	20
2.3.5 Konventionelle Projektionsradiographie	25
2.3.6 Weitere radiologische Verfahren	25
2.4 Typische Verletzungen beim Polytrauma	26
2.4.1 Schädel-Hirn-Trauma	27
2.4.2 Thoraxtrauma	31
2.4.3 Wirbelsäulenverletzungen	35
2.4.4 Abdominelle Verletzungen	36
2.5 Fragestellung und Ziel der Arbeit	42
3. MATERIAL UND METHODEN¹¹⁰	43
3.1 Studiendesign	43
3.2 Bildgebung	43
3.3 Klinische Daten	44
3.4 Statistische Analyse	44

4.	ERGEBNISSE¹¹⁰	45
5.	DISKUSSION	50
6.	LITERATURVERZEICHNIS	54
7.	ANHANG	63
7.1.	Abbildungsverzeichnis	63
7.2.	Tabellenverzeichnis	64
8.	VORABVERÖFFENTLICHUNGEN VON ERGEBNISSEN	65

Abkürzungsverzeichnis

AAAM	Association for the Advancement of Automotive Medicine
AAST-OIS	American Association for the Surgery of Trauma-Organ Injury Scale
AFS	Abdominelle Folgesonographie
AIS	Abbreviated Injury Scale
ARDS	Acute Respiratory Distress Syndrome
ATLS	Advanced Trauma Life Support
BWK	Brustwirbelkörper
BWS	Brustwirbelsäule
cCT	Craniale Computertomographie
CT	Computertomographie
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DSA	Digitale Subtraktionsangiographie
DTR	Deutsches Traumaregister
eFAST	Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma
ERCP	Endoskopisch retrograde Cholangiopankreatikographie
FAST	Focused Assessment with Sonography for Trauma
FF	Freie Flüssigkeit
GCS	Glasgow Coma Scale
GKCT	Ganzkörper-Computertomographie
HWK	Halswirbelkörper
HWS	Halswirbelsäule
HU	Hounsfield units
ISS	Injury Severity Score
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
MRCP	Magnetresonanz-Cholangiopankreatikographie
MRT	Magnetresonanztomographie
MSCT	Multislice-Computertomographie
NISS	New Injury Severity Score
PKW	Personenkraftwagen
SOP	Standard Operating Procedure
WSES	World Society of Emergency Surgery

1. Zusammenfassung

Unfälle sind die Haupttodesursache junger Menschen. Die Behandlung von Patient*innen mit Polytrauma erfordert einen hohen Grad an interdisziplinärer Zusammenarbeit und strukturierte sowie routinierte Arbeitsabläufe, wobei die radiologische Diagnostik zu einer schnellen und in Bezug auf die Verletzungsschwere adäquaten Therapie entscheidend beiträgt. Abdominelle Verletzungen sind vergleichsweise selten und können in der hämodynamisch stabilen Situation größtenteils konservativ versorgt werden. Wird eine abdominelle Verletzung nicht oder erst verzögert erkannt, kann dies das Outcome negativ beeinflussen. Die eFAST (aus dem Englischen von „Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma“) ist im Schockraum fester Bestandteil des sog. „Primary Survey“ und dient insbesondere bei hämodynamisch instabilen Patient*innen der Triagierung derer, die unmittelbare operative Maßnahmen benötigen. Goldstandard zur Detektion von Verletzungen ist beim Polytrauma die Ganzkörper-Computertomographie (GKCT). In der Vergangenheit wurde im Rahmen des sog. „Tertiary Survey“ zusätzlich eine abdominelle Folgesonographie (AFS) durchgeführt, bis die Empfehlung hierfür bei Patient*innen ohne abdominelle Verletzungen im Jahre 2011 in der S3-Leitlinie aufgehoben wurde. Trotzdem wurde die AFS bei abdominell nicht verletzten Personen selbst an größeren Traumazentren darüber hinaus noch praktiziert. Ziel dieser Arbeit ist daher die Evaluation der überarbeiteten Leitlinien im Hinblick auf die Nichtanwendung der AFS mit dem Ergebnis, dass diesen Patient*innen kein Nachteil durch die fehlende AFS entsteht. Die AFS konnte in 9 Fällen geringe Mengen freier Flüssigkeit (FF) nachweisen, wobei diese retrospektiv in allen Fällen bereits in der GKCT abgrenzbar war und sich daraus keine therapeutischen Konsequenzen ergaben.

2. Einleitung

2.1 Definition und Epidemiologie des Polytraumas

Es existieren mehrere gängige Definitionen des Polytraumas. Tscherne und Trentz definierten den Begriff bereits im Jahr 1978 als das gleichzeitige Auftreten mehrerer Verletzungen, welche in der Summe oder einzeln lebensbedrohlich sind¹.

Eine objektivere Definition liefern Scores zur Einteilung der Verletzungsschwere. Besondere Relevanz hat der „Injury Severity Score“ (ISS), bei dem das Polytrauma ab einem Wert von ≥ 16 definiert ist².

Die neuere Berlin-Definition basiert auf Daten des deutschen Traumaregisters und bezieht neben einem anatomischen Score („Abbreviated Injury Scale“ (AIS) ≥ 3 für mindestens zwei Körperregionen) auch die Hypovolämie, die Vigilanzminderung, die Azidose, die Koagulopathie und das Alter als physiologische Parameter ein².

Im Jahr 2015 gab es in Deutschland 9,73 Millionen Unfallverletzte und 24.578 tödliche Unfälle³. Diese stellen bei jungen Personen die häufigste Todesursache dar. Im Jahr 2019 dokumentierte das deutsche Traumaregister 36.699 Patient*innen an 665 teilnehmenden Kliniken. Von diesen bilden 29.345 Verunfallte aufgrund der Verletzungsschwere das Basiskollektiv der Schwerverletzten mit einer Letalität von 11 % (3.260 Patient*innen). Der Altersdurchschnitt in diesem Kollektiv beträgt 53,4 Jahre und Männer sind mit einem Anteil von 69,2 % deutlich häufiger betroffen als Frauen. Ein Großteil der Patient*innen ist intensivpflichtig (86,1 %) oder benötigt eine operative Versorgung (66,4 %)⁴. Die Behandlung Schwerstverletzter hat eine hohe Relevanz, die effiziente und strukturierte Arbeitsabläufe sowie die Einbindung regionaler und überregionaler Traumazentren erfordert.

2.2. Scoring der Verletzungsschwere

Scores zur Beurteilung der Verletzungsschwere ermöglichen eine objektive Erfassung von Verletzungsfolgen und sind Grundlage für das weitere diagnostische und therapeutische Vorgehen. Sie ermöglichen die Triagierung von Patient*innen, die eine unmittelbare Diagnostik bzw. Therapie benötigen und sind daher essenziell für eine ressourcengerechte Behandlung. Zudem haben sie einen wichtigen Stellenwert in der Abschätzung der Prognose⁵. Die meisten Scores basieren auf anatomischen und/oder physiologischen Parametern. Im Folgenden sind die wichtigsten Scoringssysteme für die Erfassung von Traumafolgen aufgeführt.

2.2.1. „Abbreviated Injury Scale“

Der „Abbreviated Injury Scale“ (AIS) wurde in den 1960er-Jahren vor dem Hintergrund steigender Unfallzahlen im Personenkraftverkehr von John D. States als Vorsitzender des „Ad hoc Injury Scaling Committee“ entwickelt und wurde zwischenzeitlich mehrfach von der „American Association for Automotive Medicine“ bzw. der „Association for the Advancement of Automotive Medicine“ überarbeitet (1990, 1998, 2007, 2008, 2016)⁶. Der Kern dieses anatomisch orientierten Bewertungssystems ist die Verknüpfung jeder Einzelverletzung mit einem Letalitätsrisiko. Dadurch können unterschiedliche Verletzungen mit ähnlichem Letalitätsrisiko zusammengefasst werden.

Unterschieden werden sechs Verletzungsklassen (1-6) in neun Körperregionen: Kopf, Gesicht, Hals, Thorax, Abdomen, Wirbelsäule, obere Extremität, untere Extremität und Sonstiges (Tab. 1 und 2). Eine nicht verletzte Organregion hat die Verletzungsstufe 0⁶.

AIS-Code	Region
1	Kopf
2	Gesicht
3	Hals
4	Thorax
5	Abdomen
6	Wirbelsäule
7	Obere Extremität
8	Untere Extremität
9	Sonstiges

Tabelle 1: „Abbreviated Injury Scale Codes (AIS-Codes)“ für die verletzte Körperregion.

AIS-Code	Verletzungsschwere
0	unverletzt
1	gering
2	mäßig
3	schwer
4	sehr schwer
5	kritisch
6	tödlich

Tabelle 2: „Abbreviated Injury Scale Codes (AIS-Codes)“ für die Verletzungsschwere.

Bei der Angabe des Scores wird die anatomische Region noch weiter aufgeschlüsselt. So wird beispielsweise eine Femurschaftfraktur mit dem Code 851814.3 erfasst. Die Zusammensetzung der Codierung im Beispiel setzt sich gemäß den von der AAAM regelmäßig herausgegebenen Codierungslisten folgendermaßen zusammen⁷:

8 = Körperregion: Untere Extremität

5 = Art der anatomischen Struktur: Knochen

18 = Spezifische anatomische Struktur: Femur

14 = Höhe der Verletzung: Schaft

3 = Severity Score

2.2.2. „Injury Severity Score“

Um eine zusammenfassende Bewertung der Verletzungsschwere von Mehrfachverletzungen zu ermöglichen, entwickelte Baker im Jahre 1974 den „Injury Severity Score“ (ISS) basierend auf dem AIS⁸. Entsprechend orientiert sich der ISS ebenfalls anhand des anatomischen Verletzungsmusters und lässt physiologische Parameter außen vor. Die zusammenfassende Bewertung der Traumaschwere dient einer besseren Vergleichbarkeit eines Traumas bei unterschiedlichen Patient*innen⁹.

Anders als beim AIS wird jedoch nur zwischen sechs anatomischen Regionen differenziert:

1. Kopf/Hals
2. Gesicht
3. Thorax
4. Abdomen
5. Extremitäten und Becken
6. Körperoberfläche

Der ISS wird gebildet als Summe der Quadrate der drei am höchsten angegebenen AIS-Werte, also der drei am schwersten verletzten anatomischen Regionen⁸:

$$\text{ISS} = (\text{AIS Region A})^2 + (\text{AIS Region B})^2 + (\text{AIS Region C})^2$$

Liegt ein mit 6 bewerteter AIS vor, so wird der ISS automatisch auf den Höchstwert von 75 festgelegt. Der Gesamtwert ergibt sich also basierend auf den AIS-Werten zwischen 1-6 und kann Werte zwischen 1 und 75 annehmen⁹. Ein Polytrauma entspricht einem ISS-Wert von ≥ 16 ¹⁰.

Baker et al. konnten zeigen, dass ein hoher ISS-Wert positiv mit der Mortalität korreliert⁸. Da er das anatomische Verletzungsmuster ohne Berücksichtigung physiologischer Parameter erfasst, ist der ISS nicht für die Triagierung oder klinische Verlaufsbeurteilung geeignet⁹.

2.2.3. „New Injury Severity Score“

Osler et al. entwickelten im Jahre 1997 den „New Injury Severity Score“ (NISS). Dieser bildet die drei schwersten Verletzungen ebenfalls anhand des AIS ab, jedoch unabhängig von der Körperregion, sodass hier die drei schwersten Verletzungen auch aus ein und derselben Organregion summiert werden können¹¹. Dies hat den Vorteil, dass weitere schwere Verletzungen eines Organs nicht zugunsten leichter Verletzungen eines anderen Organs aus der Bewertung fallen.

Das Scoring soll vereinfacht und die Überlebenswahrscheinlichkeit genauer abgebildet werden¹¹. Durch die Art des Scorings ist der NISS bei allen Patient*innen gleich oder höher als der ISS, was zu einer Überbewertung leichter Verletzungen, gleichzeitig jedoch einer genaueren Abbildung schwerer Verletzungen führt¹².

2.2.4. „Glasgow Coma Scale“

Ein spezifisches Bewertungssystem zur Einteilung der Schwere eines Schädel-Hirn-Traumas und zur Bewertung des Bewusstseinszustandes ist, der im Jahre 1974 von Teasdale und Jennett in Glasgow entwickelte, „Glasgow Coma Scale“ (GCS). Geprüft und mit Punkten versehen werden die Fähigkeit der Patient*innen die Augen zu öffnen sowie verbal und motorisch zu reagieren (Tab. 3)¹³.

Kriterium	Beste Reaktion	Punktzahl
Augen öffnen	spontan	4
	auf Aufforderung	3
	auf Schmerzreiz	2
	keine	1
Verbale Antwort	vollständig orientiert	5
	desorientiert, konversationsfähig	4
	inadäquate Äußerungen	3
	unverständliche Laute	2
	keine	1
Motorische Antwort	auf Aufforderung	6
	gezielt auf Schmerzreiz	5
	ungezielt auf Schmerzreiz	4
	Beugesynergismen auf Schmerzreiz	3
	Strecksynergismen auf Schmerzreiz	2
	keine	1

Tabelle 3: „Glasgow Coma Scale“ (GCS).

Entsprechend der Punkteskalierung liegen die Werte des GCS zwischen 3 und 15. Der GCS eignet sich zur Verlaufsbeurteilung einer Bewusstseinsstörung und kann somit ein Indikator für eine Besserung oder Verschlechterung des Krankheitsverlaufs sein¹⁴. Auch eignet er sich als Hilfe für Therapieentscheidungen. So besteht bei Traumapatient*innen bei einem GCS von ≤ 8 die Indikation zur endotrachealen Intubation, um einer sekundären zerebralen Schädigung durch Hypoxie und Hyperkapnie vorzubeugen¹⁵.

2.3. Radiologisches Management des Polytraumas

2.3.1. Schockraumaktivierung

Um alle verunfallten Patient*innen gemäß ihrer Verletzungsschwere adäquat behandeln zu können haben sich bestimmte Kriterien zur Aktivierung des Schockraumteams etabliert und Eingang in die S3-Leitlinie gefunden¹⁶.

Empfehlungsgrad A:

- systolischer Blutdruck < 90 mmHg (bei Kindern altersadaptiert)
- Atemfrequenz <10 oder >29
- Herzfrequenz >120/min
- Schockindex >0,9
- positiver eFAST
- Hypothermie < 35,0°C
- penetrierende Verletzung von Rumpf oder Hals
- GCS ≤ 12
- Atemstörung/Intubationspflicht
- instabiler Thorax
- instabile Beckenfrakturen
- Amputationsverletzungen proximal der Hände bzw. Füße
- Verletzungen mit neurologischer Querschnittssymptomatik
- prähospital Intervention (z.B. Thoraxentlastung oder Katecholamingabe)

Empfehlungsgrad B (bei Nichtzutreffen von Kriterien aus A):

- Sturz aus einer Höhe > 3 m
- Zwei oder mehr Frakturen proximaler Röhrenknochen
- Verbrennungen >20% und Grad ≥ 2b
- Verkehrsunfall mit
 - Ejektion eines Insassen
 - Fraktur langer Röhrenknochen

2.3.2. „Advanced Trauma Life Support“

„Advanced Trauma Life Support“ (ATLS) ist ein vom Chirurgen Dr. James Styner im Jahre 1976 entwickeltes und vom „American College of Surgeons“ aufgegriffenes Konzept, das diagnostische und therapeutische Abläufe in der Erstversorgung polytraumatisierter Patient*innen im Schockraum standardisiert. Kerngedanke ist dabei die schnelle Einschätzung des Patient*innenzustandes anhand der Vitalfunktionen mittels ABCDE-Konzept¹⁷. Dieses stellt im sog. „Primary Survey“ einen priorisierten Algorithmus nach dem Prinzip „Treat first what kills first“ dar. Folgende Schritte werden berücksichtigt:

- A „Airway“ (Atemweg)
 - ist der Atemweg frei?
 - ist eine Intubation nötig?
 - liegen Verletzungen der Halswirbelsäule vor, die eine Immobilisierung erfordern?

- B „Breathing“ (Atmung)
 - ist die Atmung regelrecht?
 - sind pathologische Atemgeräusche auskultierbar?
 - besteht eine verminderte Oxygenierung?

- C „Circulation“ (Kreislauf)
 - gibt es Abweichungen von Blutdruck und Puls?
 - sind Blutungen nach außen abgrenzbar?
 - FAST-Untersuchung zum Ausschluss innerer Blutungen
 - liegen Frakturen großer Knochen als potenzielle Blutungsquelle vor?
 - ist eine Volumentherapie nötig?

- D „Disability“ (neurologische Einschränkung)
 - wie ist der Bewusstseinszustand? Bestimmung des GCS.
 - besteht eine abnorme Pupillenreaktion?
 - besteht der Verdacht auf eine Intoxikation?

- E „Exposure and Environment“ (Exposition und Umfeld)
 - vollständiges Entkleiden der Patient*innen
 - kurze Untersuchung von Kopf bis Fuß
 - Erhalt der Körpertemperatur

Dem „Primary Survey“ folgt der „Secondary Survey“. Hier erfolgt eine nun gründliche Untersuchung der Patient*innen von Kopf bis Fuß und die erneute Evaluation der Vitalparameter sowie des Bewusstseinszustandes. Meist folgen in dieser Phase zusätzliche diagnostische Maßnahmen, wie laborchemische und radiologische Untersuchungen. Der GKCT (Kopf bis einschließlich Becken) kommt hierbei ein besonderer Stellenwert zuteil¹⁸. Um die Rate nicht erkannter Verletzungen zu minimieren, wird im weiteren Verlauf ein „Tertiary Survey“ durchgeführt, von dem insbesondere initial bewusstseinsgeminderte Patient*innen profitieren, wobei hier überwiegend Extremitätenverletzungen detektiert werden¹⁹.

2.3.3. „Focused Assessment with Sonography for Trauma“

Aufgrund der breiten Verfügbarkeit, der schnellen Durchführung und fehlenden Strahlenbelastung ist die gezielte Ultraschalluntersuchung fester Bestandteil des „Primary Surveys“ der Schockraumversorgung. Ziel ist die Detektion einer abdominellen Verletzung durch den Nachweis freier abdomineller Flüssigkeit mit der möglichen Konsequenz einer Notfalllaparotomie bei hämodynamisch instabilen Patient*innen. Hierbei ist die Grundannahme, dass alle klinisch relevanten abdominellen Verletzungen durch ein Hämatoperitoneum begleitet werden²⁰, wenngleich gezeigt werden konnte, dass ca. 18 % aller Verletzungen der Bauchorgane ohne Hämatoperitoneum einhergehen²¹. Die Einführung des „(extended) Focused Assessment with Sonography for Trauma“ (eFAST) machte die bis dato gängige Praxis der Peritoneallavage zum Blutungsausschluss obsolet.

Ultraschalltechnik

Schall ist eine mechanische Welle, die zu Ihrer Ausbreitung ein Medium benötigt. Das menschliche Ohr kann sie mit einer Frequenz zwischen 20 und 20000 Hz wahrnehmen. Ultraschall ist jeder Schall, der diese Frequenz übersteigt²². Das Ultraschallgerät, bestehend aus einem Sender und Empfänger im sog. Schallkopf, erzeugt Schall, indem es sich das physikalische Phänomen des piezoelektrischen Effekts zunutze macht. Dieser besteht darin, dass einige Materialien beim Zusammendrücken eine elektrische Potenzialdifferenz an ihrer Oberfläche und damit einen elektrischen Strom erzeugen können. Der Effekt läuft auch in umgekehrter Richtung ab, sodass diese Materialien, wenn ihnen Elektrizität in Form von Wechselstrom zugeführt wird, Schwingungen erzeugen, die Ultraschall generieren²³. In die Berechnung des Ultraschallbildes geht der Energieverlust der Schallwelle durch Absorption, Streuung und Reflexion ein, nachdem der Schall auf die Kristalle des Empfängers trifft, die ihn in elektrischen Strom umwandeln und zur Berechnung des Bildes an den Prozessor schicken²².

Die Frequenz des Ultraschalls hat dabei Einfluss auf die Eindringtiefe in das Gewebe sowie die Auflösung. Niedrige Frequenzen haben eine hohe Eindringtiefe mit geringer Auflösung.

Umgekehrt weisen hohe Frequenzen eine höhere Ortsauflösung auf bei geringerer Eindringtiefe. Je nach gewünschter Frequenz und anatomischen Gegebenheiten stehen unterschiedliche Schallkopftypen zur Verfügung²³.

Bei der Sektorsonde, auch Phased-Array-Sonde genannt, lassen sich die piezoelektrischen Kristalle einzeln und dadurch phasenversetzt ansteuern, wodurch ein sektorförmiger Bildausschnitt entsteht²². Als „Array“ bezeichnet man eine Gruppe aus mehreren Kristallen. Die geringe Anlagefläche sowie niedrige Frequenzen von 2-7,5 MHz machen diesen Sondentyp ideal für Untersuchungen anatomisch schwer einsehbarer Regionen und findet daher hauptsächlich bei Untersuchungen des Herzens, der Lunge oder des Gehirns Anwendung²⁴.

Die Linearsonde eignet sich für Untersuchungen oberflächlicher Organe, wie der Schilddrüse, der Mamma oder des muskuloskelettalen Systems. Sie bietet mit einem Frequenzbereich von 2,5-12 MHz eine hohe Nahfeldauflösung bei geringer Eindringtiefe und breiter Anlagefläche²⁴. Die „Arrays“ sind linear angeordnet und produzieren einen rechteckigen Bildausschnitt.

Bei der Konvexsonde sind die „Arrays“ ebenfalls in Reihe angeordnet, jedoch ist die Anlagefläche konvexförmig gekrümmt. Dies ermöglicht einen großen Bildausschnitt mit guter Eindringtiefe, was insbesondere bei der Untersuchung des Abdomens von Nutzen ist²³. Der Frequenzbereich liegt bei 2,5-7,5 MHz.

Ablauf der (e)FAST-Untersuchung

Bei der FAST-Untersuchung werden der hepatorenale Raum (Morison-Pouch) und der splenorenale Raum (Koller-Pouch) inklusive der basalen Anteile der Pleura über einen rechts- bzw. linksseitigen Flankenschnitt dargestellt. Des Weiteren wird das Perikard über einen Oberbauch-Querschnitt und das kleine Becken über einen suprapubischen Quer- bzw. Längsschnitt eingesehen (Abb. 1)^{25,26}. Neben freier abdomineller Flüssigkeit lassen sich so zusätzlich Pleuraergüsse im Rahmen eines Hämatothorax und ein Perikarderguss ausschließen. Die gesuchte Flüssigkeit kann echofrei oder inhomogen hypo- bis hyperechogen zur Darstellung kommen. Eine Unterscheidung rein seröser Ergüsse von Blutungen ist sonographisch daher nicht sicher möglich²⁶.

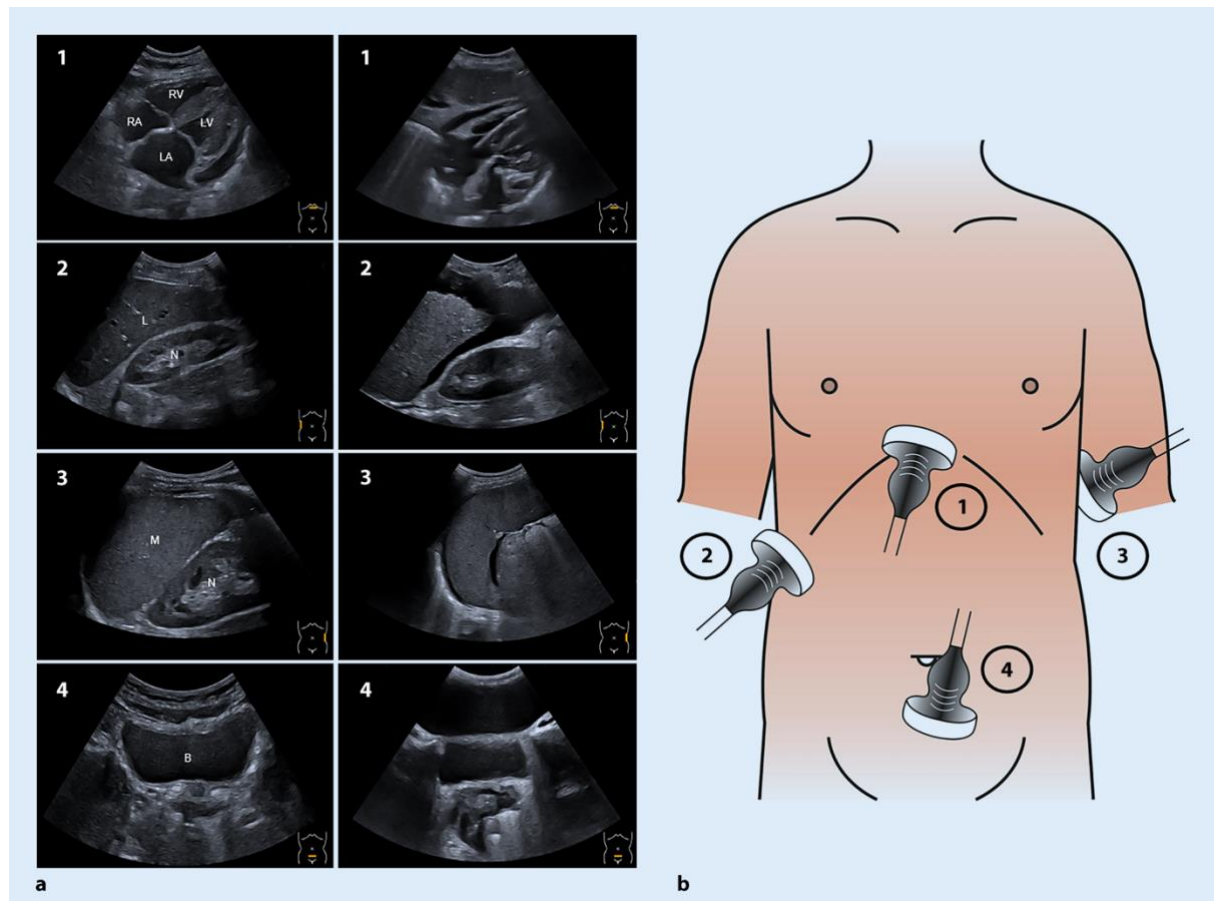


Abbildung 1: Standardschnitte bei der FAST; Normalbefunde in der linken Spalte, pathologische Befunde in der rechten Spalte²⁶. Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature.

Sonographisch lässt sich freie abdominelle Flüssigkeit ab einer Menge von ca. 100 ml im kleinen Becken nachweisen, wobei im Morison- bzw. Koller-Pouch größere Mengen zur Detektion notwendig sind²⁷. Pleuraergüsse hingegen sind bereits ab einer Menge von ca. 20 ml abgrenzbar²⁰.

Eine Vielzahl von Studien belegt die geringere Sensitivität der FAST im Nachweis von Verletzungen der parenchymatösen Bauchorgane im Vergleich mit der Computertomographie^{28,29,30,31}. McGahan et al. untersuchten diesen Zusammenhang als eine der ersten und stellten eine Sensitivität von 63 % fest²⁸. Etwas höher liegt die Sensitivität des Ultraschalls für den Nachweis freier Flüssigkeit mit 69-98 % verglichen mit der Computertomographie²⁵.

In der Mitte der 2000er-Jahre wurde als Weiterentwicklung des FAST der sog. „extended FAST“ (eFAST) zum zusätzlichen Ausschluss eines Pneumothorax eingeführt²⁵. Dieser beinhaltet neben den Flankenschnitten, den suprapubischen Schnitten und dem Oberbauch-Querschnitt einen thorakalen Längsschnitt beidseits. Zur Detektion eines Pneumothorax wird

zumeist ein Linearschallkopf mit einer Frequenz von 5-13 MHz beidseits in der Medioklavikularlinie auf Höhe der zweiten bis vierten Rippe in Rückenlage aufgesetzt.

Das physiologische Gleiten der Pleura visceralis entlang der Pleura parietalis ist sonographisch darstellbar. Diese stellt sich als atemsynchron horizontal bewegliche, hyperechogene Linie dar³². Insbesondere bei Patient*innen mit eingeschränkter Lungenkapazität kann dieses Gleiten nur subtil und uneindeutig sein. In diesen Fällen hilft der M-Mode („Motion-Mode“) des Ultraschallgeräts, welcher Strukturen innerhalb einer definierten Achse im zeitlichen Verlauf darstellt. Im Normalzustand bilden sich die nicht beweglichen, schallkopfnahen Anteile der Thoraxwand wellen- bzw. strichförmig ab, während die in Bewegung befindliche Pleura und die darunter gelegenen Lungenabschnitte ein granuläres Bild erzeugen, welches in der Gesamtheit an einen Strand erinnert (sog. „Seashore-Sign“, Abb. 2). Liegt hingegen ein Pneumothorax vor, so treffen die Schallwellen nicht auf die bewegliche Pleura visceralis, sondern die im Pleuraraum gelegene Luftkollektion, wodurch lediglich parallele horizontale Linien dargestellt werden, welche an einen Strichcode erinnern („Barcode“- oder auch „Stratosphere sign“)³³. Gelegentlich kann der Grenzbereich eines Pneumothorax dargestellt werden, an dem die Pleura visceralis wieder auf die Pleura parietalis trifft (sog. „Lung point“, Abb. 2). Dieses Zeichen ist mit einer Spezifität von 100 % beweisend für einen Pneumothorax³⁴. In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass der Ultraschall der konventionellen Projektionsradiographie des Thorax in der Detektion eines Pneumothorax überlegen ist mit einer Sensitivität von 86 – 98 %³⁵.

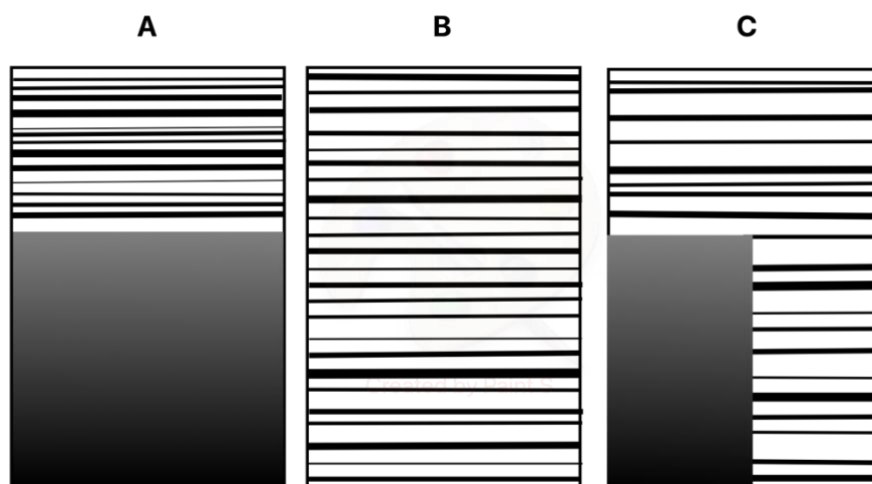


Abbildung 2: A. Schematische M-Mode Darstellung der anliegenden, beweglichen Pleura visceralis, sog. „Seashore-Sign“. B. „Barcode-Sign“ bei Pneumothorax. C. Grenzbereich eines Pneumothorax („Lung point“), an dem sich beide Anteile der Pleura wieder treffen³⁴.

2.3.4. Computertomographie

Indikationen für die Durchführung einer GKCT beim Polytrauma sind Störungen der Vitalparameter, ein relevanter Unfallmechanismus, pathologische Untersuchungsbefunde am Rumpf oder Frakturen von mindestens zwei langen Röhrenknochen¹⁶. Für das hämodynamisch instabile Polytrauma wurde die Empfehlung in der letzten Aktualisierung der S3-Leitlinie spezifiziert. Demnach soll eine GKCT nur erfolgen, sofern der systolische Blutdruck nicht unter 60 mmHg liegt, da ein ausreichender Kreislauf zur Kontrastmittelverteilung notwendig ist¹⁶. Die Stärke der Computertomographie liegt in der schnellen, untersucherunabhängigen Durchführbarkeit mit der Möglichkeit, die wichtigsten Traumafolgen des gesamten Körpers multiplanar darzustellen. Hierbei ist eine enge räumliche Anbindung (< 50 m) an den Schockraum von großer Bedeutung, um zeitliche Verluste zu vermeiden³⁶. Eine Untersuchung dauert inklusive Patient*innenlagerung und Untersuchungsplanung nur wenige Minuten. Die GKCT hat sich daher als Goldstandard in der Bildgebung des Polytraumas mit exzellenter Aussagekraft etabliert. Laut Stengel et al. liegt die Sensitivität der GKCT bei Schwerverletzten zwischen 85-92 % bei einer Spezifität von 95-99 %³⁷.

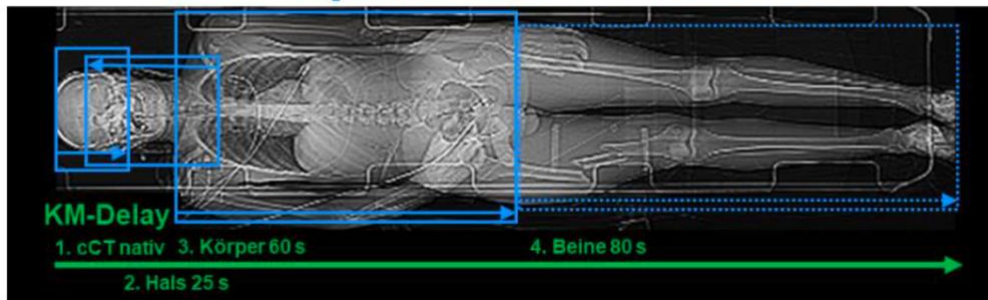
Untersuchungsablauf

Zu dem Untersuchungsprotokoll einer sog. Traumaspirale bzw. Polytrauma-CT zählt die native Untersuchung des Neurokraniums und die kontrastmittelgestützte Untersuchung von Thorax, Abdomen und Becken. Je nach Traumamechanismus und neurologischem Befund kann die Halswirbelsäule inklusive Mittelgesicht entweder in nativer Technik oder zum Ausschluss einer Gefäßverletzung nach Kontrastmittelgabe in der arteriellen Phase untersucht werden. Für die Untersuchung von Thorax, Abdomen und Becken stehen unterschiedliche Kontrastmittelphasen zur Verfügung. Bei instabilen Patient*innen ist es sinnvoll ein zeitoptimiertes Protokoll zu wählen, wohingegen ein dosisoptimiertes Protokoll bei stabilen Patient*innen eingesetzt werden sollte.

Die Arbeitsgemeinschaft Bildgebende Verfahren des Bewegungsapparates der Deutschen Röntgengesellschaft empfiehlt für das Polytrauma folgendes Protokoll mit entsprechender Zeit- bzw. Dosisoptimierung³⁸:

1. Native CT des Neurocraniums zum Ausschluss intrakranieller Blutungen und Frakturen des Schädels.
2. Kontrastmittelgestützte CT-Angiographie (CTA) in arterieller Phase vom Orbitadach bis zum Aortenbogen zum Ausschluss von Frakturen des Mittelgesichts und der Halswirbelsäule sowie von Verletzungen der supraaortalen Gefäße.
3. Kontrastmittelgestützte CT in venöser Phase von Thorax, Abdomen und Becken zum Ausschluss von Verletzungen des Körperstammes.
4. Sofern der Verdacht auf eine relevante Verletzung der Beine besteht, kann optional ein vierter Scan zur Untersuchung der Beine erfolgen.

ZEIT-optimiertes Protokoll



LANDMARKEN für Planung der Einzel-Scans:

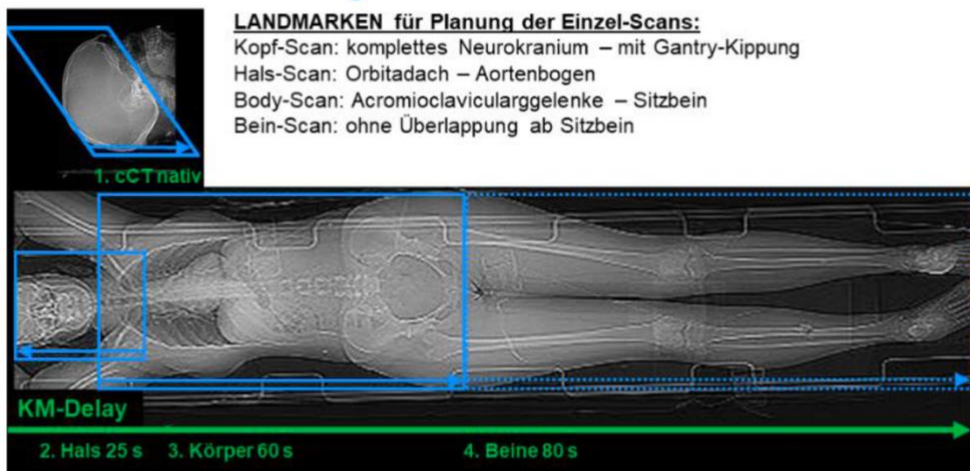
Kopf-Scan: komplettes Neurokranium – ohne Gantrykipfung
Hals-Scan: Orbitadach – Aortenbogen
Body-Scan: Acromioclaviculargelenke – Sitzbein
Bein-Scan: ohne Überlappung ab Sitzbein

Beispielhafter Ablauf:

1. Ganzkörper-Scout
2. Kopf-Spirale (Scanzeit ca. 6s)
3. Interscan-Delay (ca. 19s)
4. Hals-Spirale (Scanzeit ca. 7s)
5. Interscan-Delay (ca. 28s)
6. Körper-Spirale (Scanzeit ca. 10s)
7. Interscan-Delay (ca. 5s)
8. Fakultative Bein-Spirale (Scanzeit ca. 12s)

© Stefan Reske

DOSIS-optimiertes Protokoll



LANDMARKEN für Planung der Einzel-Scans:

Kopf-Scan: komplettes Neurokranium – mit Gantry-Kippung
Hals-Scan: Orbitadach – Aortenbogen
Body-Scan: Acromioclaviculargelenke – Sitzbein
Bein-Scan: ohne Überlappung ab Sitzbein

Beispielhafter Ablauf cCT:

1. Scout für cCT
2. Kopf-Spirale (Scanzeit ca. 6s)
3. Pause mit Umlagerung der Arme über den Kopf

Beispielhafter Ablauf Scans von Hals, Körper & Beinen:

1. Scout über gesamten Körper
2. Hals-Spirale (Scanzeit ca. 7s)
4. Interscan-Delay (ca. 28s)
5. Körper-Spirale (Scanzeit ca. 10s)
6. Interscan-Delay (ca. 5s)
7. Fakultative Bein-Spirale (Scanzeit ca. 12s)

© Stefan Reske

Abbildung 3: Protokollempfehlungen der AG Bildgebende Verfahren des Bewegungsapparats zur Ganzkörper-CT mehrfach verletztter bzw. polytraumatisierter Patient*innen³⁸. Mit freundlicher Genehmigung von Stefan Reske.

Die Besonderheiten eines zeitoptimierten Protokolls beginnen bereits beim Topogramm, welches durchgängig den gesamten Körper erfassen sollte und eine schnelle Planung sämtlicher Einzelscans ermöglicht. Eine weitere Zeitersparnis wird durch den Verzicht einer Gantrykipfung beim cranialen CT (cCT) sowie durch den Verzicht einer Armumlagerung erreicht. Dabei hat die gurtfixierte Überkreuzung der Arme auf einem thorakal positionierten Polster gegenüber der Lagerung neben dem Körper den Vorteil einer höheren Bildqualität durch geringere Artefakte insbesondere in den dorsalen Anteilen von Leber und Milz bei gleichzeitiger Reduktion der Strahlendosis³⁹. Nachteil der fehlenden Gantrykipfung im cCT ist die höhere Strahlenbelastung der Augenlinsen. Hickethier et al. beschreiben eine Zeitersparnis von ca. 30 % allein durch den Verzicht einer Armumlagerung⁴⁰. Statt eines Bolustrackings sollte ein festes Kontrastmitteldelay genutzt werden, da hier die Kontrastmittelapplikation früher starten kann und sich die Zeit zwischen den Scans verkürzt. Beim dosisoptimierten Protokoll ermöglicht die gezielte Anpassung der Topogramme eine Dosismodulation der verschiedenen Einzelscans. Zum Schutz der Augenlinsen sollte beim cCT eine Gantrykipfung erfolgen und die Arme sollten nach der Durchführung des cCT kopfwärts gelagert werden, um Dosis einzusparen und die Bildqualität zu verbessern. Falls der Verdacht auf eine Verletzung der Arme besteht, kann auf die Armhochlagerung verzichtet werden. Die Positionierung der Patient*innen in der Gantry kann sowohl kopfwärts, als auch fußwärts erfolgen, sollte die räumlichen Gegebenheiten jedoch effizient nutzen³⁸. Aktuell herrscht in der Literatur keine Einigkeit über die zu akquirierenden Kontrastmittelphasen im Rahmen der CT des Rumpfes und die verwendeten Protokolle sind in dieser Hinsicht heterogen⁴¹. Berücksichtigt werden sollte der Kompromiss aus zusätzlichem Informationsgewinn durch mehrphasige Untersuchungen und der damit einhergehenden erhöhten Strahlenbelastung und Zeitaufwand. Neben der arteriellen Darstellung von Hals und Thorax, gefolgt von einer Darstellung des Abdomens in portalvenöser Phase werden auch monophasische Untersuchungen in portalvenöser Phase oder sog. „Split-Bolus-Techniken“ genutzt⁴². Bei der „Split-Bolus-Technik“ werden zwei Kontrastmittelboli zeitverzögert appliziert mit darauffolgend einzelнем Scanvorgang, um eine gleichzeitige, überlagerte Darstellung sowohl in arterieller als auch venöser Kontrastmittelfase zu generieren (Abb. 4).



Abbildung 4: Transversale CT-Untersuchung des Oberbauchs mit Kontrastmittel als „Split-Bolus“. Gleichzeitige arterielle Angiographie und Kontrastierung der Bauchorgane in portalvenöser Phase⁴². Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature.

Im Vergleich zur monophasischen CT liefert die „Split-Bolus-Technik“ eine gleichzeitige Darstellung von Gefäßsystem und Organen bei geringerer Strahlendosis als eine herkömmliche mehrphasige CT^{42,43}. Zu beachten ist jedoch, dass im Falle einer aktiven Gefäßblutung keine Aussagen zur Blutungsdynamik getroffen werden kann, da es sich um eine Einzelaufnahme handelt.

Die Arbeitsgemeinschaft Bildgebende Verfahren des Bewegungsapparats der Deutschen Röntgengesellschaft und die aktuelle S3-Leitlinie sprechen sich gegen eine Traumaspirale unter laufender Reanimation aus^{16,38}. Gäble et al. beschreiben eine mögliche Durchführung unter Verwendung von Reanimationshilfen, wenngleich die dadurch entstehenden Bewegungsartefakte und die verzögerte Kontrastmittelverteilung bei eingeschränkter Hämodynamik besondere Herausforderungen mit sich bringen⁴¹.

2.3.5. Konventionelle Projektionsradiographie

Konventionelle Röntgenübersichtsaufnahmen von Thorax und Becken sollen durchgeführt werden, wenn unklar ist, ob eine thorakale oder pelvine Verletzung vorliegt und keine unmittelbare CT-Untersuchung der Regionen erfolgt. Die Wirbelsäule soll vorrangig mittels CT untersucht werden und nur ersatzweise mittels Übersichtsaufnahmen. Wenn der Verdacht auf eine Fraktur der Extremitäten besteht, kann entweder eine Übersichtsaufnahme in zwei Ebenen oder eine CT erfolgen, wenn dies die Stabilität der Patient*innen zulässt^{16,44}.

Ziel der Thoraxübersichtsaufnahme ist die Detektion eines Pneumothorax, Hämatothorax oder von Rippenfrakturen. Dabei ist die Sensitivität der Thoraxaufnahme im Liegen für den Nachweis eines Pneumothorax mit 28 – 75 % relativ gering bei einer Spezifität von 100 %³⁵. Insbesondere bei großer räumlicher Distanz zwischen Schockraum und CT kann es sinnvoll sein, eine Bucky-Anlage in den Schockraum zu integrieren, um bei Verdacht auf eine thorakale Verletzung schnell gröbere Pathologien darzustellen. Peytel et al. konnten in einer prospektiven Studie zeigen, dass die Thoraxübersichtsaufnahme für die Stellung der Indikation zur Anlage einer Thoraxdrainage ausreichend ist und in allen Fällen korrekt war (n = 77)⁴⁵.

2.3.6. Weitere radiologische Verfahren

Die Magnetresonanztomographie (MRT) findet in der Diagnostik des Polytraumas keinen standardmäßigen Einsatz, kann als ergänzende Modalität bei unklaren Befunden jedoch wertvolle Zusatzinformationen liefern. Sie wird dabei vor allem zum Ausschluss diskoligamentärer Wirbelsäulenverletzungen und Verletzungen des Rückenmarks bei auffälligem CT-Befund eingesetzt^{16,46}. Bei Verdacht auf eine Dissektion der supraaortalen Gefäße kann die MRT bei unklarer CTA unter Umständen ein Wandhämatom nachweisen und somit die Diagnose sichern⁴⁷. Zu beachten ist, dass CTA und MRT nahezu gleichwertig im Nachweis kraniозervikaler Dissektionen sind, sich jedoch ergänzen können⁴⁸.

Aus strahlenhygienischen Gründen kann bei Kindern mit fakultativer Indikation für eine cCT alternativ eine craniale MRT (cMRT) durchgeführt werden. Tabelle 4 fasst obligate und fakultative Indikationen für eine cCT bei Kindern zusammen⁴⁴.

Obligate Indikationen	Fakultative Indikationen
• Koma und Zeichen der transtentoriellen Herniation • Anhaltende Bewusstseinsstörung (GCS < 15) • Fokal neurologische Defizite • Verdacht auf Schädelfraktur oder offene Verletzung	• Schwerer Unfallmechanismus • Starke oder persistierende Kopfschmerzen • Erbrechen mit zeitlichem Bezug zum Unfallereignis sowie bei mehrfachem Auftreten • Intoxikation mit Alkohol oder Drogen • Hinweise für eine Gerinnungsstörung • Zerebrale Vorerkrankungen

Tabelle 4: Obligate und fakultative Indikationen für die craniale Computertomographie (cCT) beim Polytrauma des Kindes.

Die digitale Subtraktionsangiographie (DSA) bietet die Möglichkeit, unterschiedliche Gefäßpathologien darzustellen und unmittelbar zu therapieren. Wenn in der initialen CT-Diagnostik eine aktive Blutung detektiert wird, richtet sich das weitere Prozedere nach der Verletzungsschwere, nach der hämodynamischen Stabilität der Patient*innen und nach möglichen Begleitverletzungen. Liegt beispielsweise zusätzlich eine Hohlorganverletzung vor, so besteht meist die Indikation zur operativen Therapie⁴⁹. Wenn die Verletzungsschwere und der Patient*innenzustand es zulassen, können aktive Blutungen der parenchymatösen Bauchorgane und Blutungen nach Beckenfrakturen durch Gefäßembolisationen verschlossen werden. Hierzu stehen neben Coils auch Embolisationspartikel, Flüssigembolisate und Stents zur Verfügung. Aufgrund der guten Ergebnisse und des minimalinvasiven Charakters der Interventionen ist in den letzten Jahren ein Anstieg der Gefäßembolisationen zur Blutungsversorgung zu beobachten⁵⁰.

2.4. Typische Verletzungen beim Polytrauma

Aus dem Jahresbericht 2020 des Deutschen Traumaregisters geht hervor, dass die drei häufigsten Verletzungsregionen den Kopf, Thorax und die Wirbelsäule betreffen. Abdominelle Verletzungen sind mit 14,4 % deutlich seltener⁴. Das Schädel-Hirn-Trauma und aktive Blutungen sind insgesamt die häufigsten Todesursachen⁵¹.

Im Folgenden soll näher auf die typischen Verletzungsmuster beim Polytrauma eingegangen werden.

2.4.1. Schädel-Hirn-Trauma

Das Schädel-Hirn-Trauma ist mit einer Inzidenz von etwa 10,1 pro 100.000 Einwohner*innen eine häufige Verletzungsfolge⁵². Hierbei gibt es drei Häufigkeitsgipfel, bei Kindern (0-4 Jahre), Jugendlichen (15-24 Jahre) und bei älteren Personen (> 65 Jahre)⁵³. Bei Kindern und jungen Erwachsenen stellt das Schädel-Hirn-Trauma die häufigste Todesursache dar^{52,54,55}. Unterschiedliche Traumamechanismen können ursächlich sein, wobei die Hauptursachen Verkehrsunfälle und Stürze sind⁵³.

Die Einteilung des Schweregrades richtet sich nach dem GCS⁵⁶.

Schweregrad	GCS
leicht	13-15
mittelgradig	9-12
schwer	3-8

Tabelle 5: Schweregrade des Schädel-Hirn-Traumas. Die Einteilung erfolgt mittels „Glasgow Coma Scale“ (GCS).

Typische Verletzungsmuster sind Schädelfrakturen, Hirnkontusionen und intrakranielle Blutungen, welche in subdurale bzw. epidurale Hämatome und intrazerebrale bzw. subarachnoidale Blutungen unterteilt werden können. Das geschlossene Schädel-Hirn-Trauma ist durch die Intaktheit der Dura mater vom offenen Schädel-Hirn-Trauma abzugrenzen⁵⁵. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Häufigkeit der verschiedenen Verletzungen⁵².

Verletzung	Häufigkeit
Schädelfraktur	51,6 %
Subdurales Hämatom	47,5 %
Subarachnoidale Blutung	35,6 %
Hirnkontusion	23,7 %
Intrazerebrale Blutung	19,2 %
Epidurales Hämatom	9,6 %

Tabelle 6: Häufigkeit der Verletzungen beim Schädel-Hirn-Trauma.

Zu unterscheiden ist der unmittelbar durch das Trauma bedingte Schaden des Gehirns von den sekundären, im Verlauf von Minuten bis Tagen eintretenden sekundären Schäden durch Entzündungsmediatoren und Fehlregulationen in der Zellfunktion⁵³. Der primär eingetretene Hirnschaden ist durch therapeutische Maßnahmen nicht zu beeinflussen. Eine Minimierung der Folgeschäden mittels Gerinnungsoptimierung, Beatmung, Flüssigkeitsmanagement und Katecholamintherapie ist daher das primäre Therapieziel⁵⁵.

Frakturen des Schädels können je nach Krafteinwirkung sämtliche schädelbildenden Knochen betreffen. Eine besondere Komplexität in der Diagnostik und Therapie bieten Frakturen der Schädelbasis (Abb. 5). Je nach Frakturverlauf kann es zu Verletzungen der Dura mit resultierenden Liquorfisteln, Verletzungen der Hirnnerven bzw. hirnversorgenden Gefäßen, Nasennebenhöhlen oder des Innenohrs kommen⁵⁷. Schädelfrakturen lassen sich gut mittels CT detektieren⁵⁸. Im Falle von Komplikationen können weitere diagnostische Maßnahmen erforderlich werden. So lässt sich etwa eine Liquorfistel mittels MRT und laborchemischer Untersuchung nachweisen bzw. ist zum Ausschluss einer Sinus-cavernosus-Fistel die DSA hilfreich⁵⁷. Je nach Frakturverlauf, Dislokation und Begleitverletzungen kann eine operative Frakturversorgung notwendig sein. Nicht dislozierte Kalottenfrakturen können in der Regel konservativ behandelt werden⁵⁹.



Abbildung 5: Schädelbasisfraktur unter Beteiligung der linken Okzipitalkondyle.

Intrakranielle Blutungen können in intra- und extraaxial unterteilt werden.

Zu den intraaxialen Blutungen zählen die intrazerebralen Blutungen und die Kontusionsblutungen, wobei die Unterscheidung oft schwierig ist. Als Daumenregel kann gelten, dass der Blutanteil einer Kontusionsblutung weniger als zwei Drittel der Gesamtläsion ausmacht, während bei der intrazerebralen Blutung der Blutungsanteil höher ist⁶⁰. Kontusionsblutungen können grundsätzlich alle Hirnabschnitte betreffen, treten jedoch häufig dort auf, wo das Hirnparenchym durch die angrenzende Schädelkalotte bzw. die Dura im Falle eines Traumas besonderen Scherkräften ausgesetzt ist, nämlich frontobasal und temporobasal (Abb. 6)⁶¹. Aufgrund der traumabedingten Beschleunigung der Schädelkalotte gegen das Gehirn entsteht auf Höhe des Anpralls der sog. „Coup-Herd“ im Hirnparenchym und bei höherer Krafteinwirkung der sog. „Contre-Coup-Herd“ auf der gegenüberliegenden Seite⁶⁰.



Abbildung 6: Zerebrale Kontusionsblutungen frontobasal in typischer Lokalisation.

Zu den extraaxialen Blutungen zählen subdurale und epidurale Hämatome (Abb. 7) sowie Subarachnoidalblutungen (Abb. 8). Je nach Lokalisation der extraaxialen Blutung sind unterschiedliche Gefäße ursächlich. Das subdurale Hämatom resultiert durch die Verletzung von Brückenvenen, während es beim epiduralen Hämatom zu einer Verletzung von Ästen der Arteria meningea media kommt.

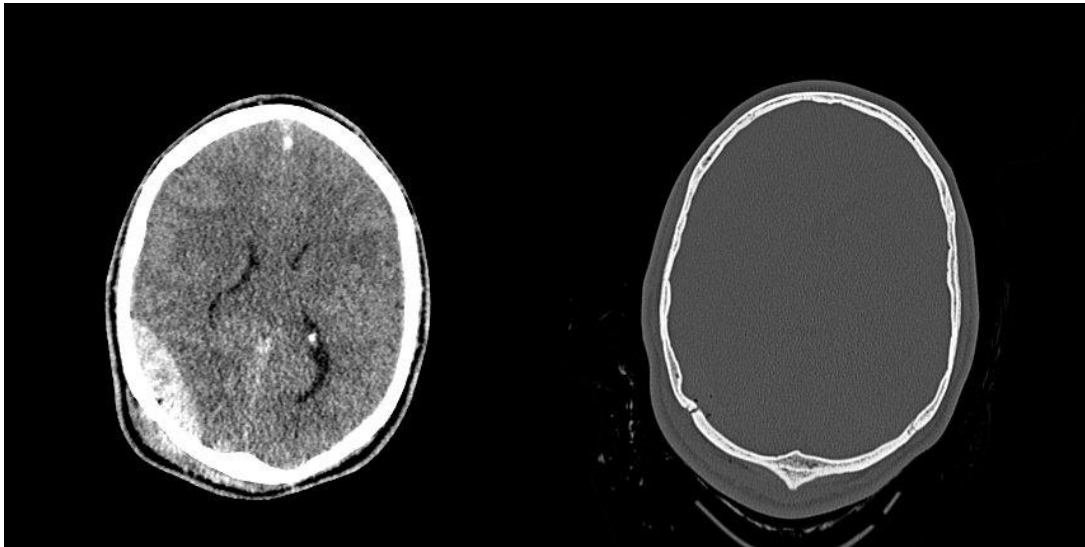


Abbildung 7: Epidurales Hämatom rechts parietal mit begleitender Kalottenfraktur.

Die Pathophysiologie der traumatischen Subarachnoidalblutung ist nicht gänzlich geklärt⁶², wahrscheinlich ist jedoch die Verletzung kleiner Gefäße im Subarachnoidalraum ursächlich⁶³. Die Indikation zur operativen Entlastung besteht bei raumfordernden Blutungen, zum Beispiel wenn eine Mittellinienverlagerung vorliegt bzw. klinische oder radiologische Zeichen einer zerebralen Herniation bestehen⁶¹.

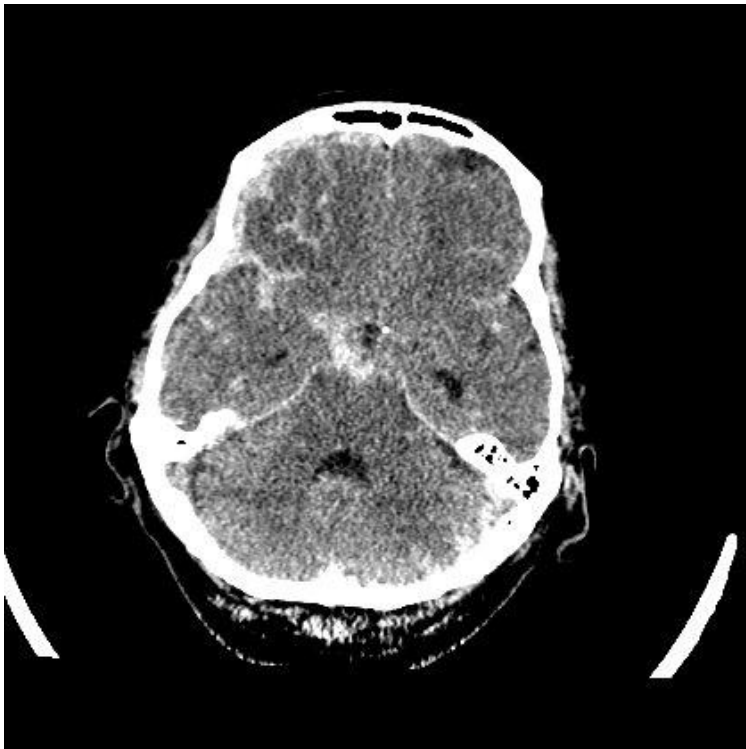


Abbildung 8: Subarachnoidalblutung.

2.4.2. Thoraxtrauma

Der Thorax ist mit 45 % beim Polytrauma die am zweithäufigsten verletzte Organregion. Hierbei dominieren in Deutschland mit über 90 % die stumpfen Thoraxverletzungen, während penetrierende Verletzungen, zum Beispiel durch Schuss- oder Stichwaffen, aber auch durch Pfählungsverletzungen deutlich seltener sind⁴. Ähnlich dem Schädel-Hirn-Trauma gehen thorakale Verletzungen mit einer erhöhten Mortalität einher⁶⁴. Aufgrund der peripher exponierten Lage sind die häufigsten thorakalen Verletzungen Rippenfrakturen, gefolgt von Pneumothoraces und Lungenkontusionen. Tabelle 7 führt die Häufigkeit der unterschiedlichen Verletzungsmuster auf⁶⁵.

Verletzung	Häufigkeit
Rippenfraktur	49 %
Pneumothorax	17 %
Lungenkontusion	12 %
Gefäßverletzungen	5 %

Tabelle 7: Häufigkeit der Verletzungen beim Thoraxtrauma.

Bei fehlendem Konsens über die genaue Definition und uneinheitlichen Diagnosekriterien weist die Inzidenz insbesondere stumpfer Verletzungen des Herzens eine große Spannbreite von 8-76 % auf⁶⁶.

Zum Ausschluss einer thorakalen Verletzung soll zunächst eine klinische Untersuchung mit Prüfung der Stabilität und Auskultation der Lungen durchgeführt werden. Bei Verdacht auf ein Thoraxtrauma soll eine Röntgenuntersuchung/ und oder CT des Thorax durchgeführt werden¹⁶. Insbesondere mittels CT lassen sich die wichtigsten thorakalen Verletzungen gut darstellen.

Rippenfrakturen

Frakturen der Rippen können singulär, multipel, uni- oder bilateral auftreten. Dabei werden dislozierte von undislozierten Frakturen unterschieden (Abb. 9). Von einer Rippenserienfraktur spricht man bei Frakturen von mindestens drei aufeinanderfolgenden Rippen einer Thoraxseite⁶⁷. Sind die Rippen bei einer Serienfraktur mehrfach gebrochen, handelt es sich um einen instabilen Thorax („Flail Chest“), welcher mit einer erhöhten Mortalität und aufwendigeren Therapie einhergeht, da die Patient*innen ein höheres Risiko für eine respiratorische Insuffizienz aufweisen^{67,68}.

Thorakale und abdominelle Begleitverletzungen sind häufig^{67,69}.



Abbildung 9: Dislozierte Rippenfraktur links.

Pneumothorax und Hämatothorax

Ein Pneumothorax entsteht, wenn Luft von intra- oder extrakorporal zwischen die Pleura parietalis und Pleura visceralis gelangt. Dies kann etwa bei einer Rippenfraktur mit Dislokation und Verletzung der angrenzenden Lunge, bei einer Durchspießung mit einem Fremdkörper oder bei einer alveolären Ruptur durch einen plötzlichen intraalveolären Druckanstieg der Fall sein⁷⁰. Bildet sich dabei ein Ventilmechanismus, welcher das Eindringen von Luft in den Pleuraspalt ermöglicht, nicht jedoch ein Entweichen, so kommt es zu einem Druckanstieg auf der betroffenen Thoraxseite mit mediastinaler Verlagerung und möglicher Störung des venösen Zustromes in das Herz⁶⁹. Wird ein Spannungspneumothorax nicht rechtzeitig mittels Thoraxdrainage entlastet, kann es zu einer hämodynamischen Instabilität kommen. Ein traumatischer Pneumothorax ist häufig mit zusätzlichen Einblutungen in den Pleuraraum vergesellschaftet, dem sog. Hämatothorax bzw. Hématopneumothorax. Ursächlich hierfür sind meist Verletzungen der Interkostalgefäße, aber auch der Arteria thoracica interna, der Lungen, des Herzens oder der großen thorakalen Gefäße, wobei stärkere Blutungen in einem hämorrhagischen Schock resultieren können⁷¹. Bei einliegender Thoraxdrainage stellen Fördermengen von initial > 1500 ml eine Indikation zur Thorakotomie dar⁷². In der Computertomographie lassen sich Einblutungen in den Pleuraraum anhand der Dichtewerte gegenüber serösen Ergüssen abgrenzen. Hierbei weist der Hämatothorax mit 35-70 Hounsfield Units (HU) erhöhte Dichtewerte auf⁷³.

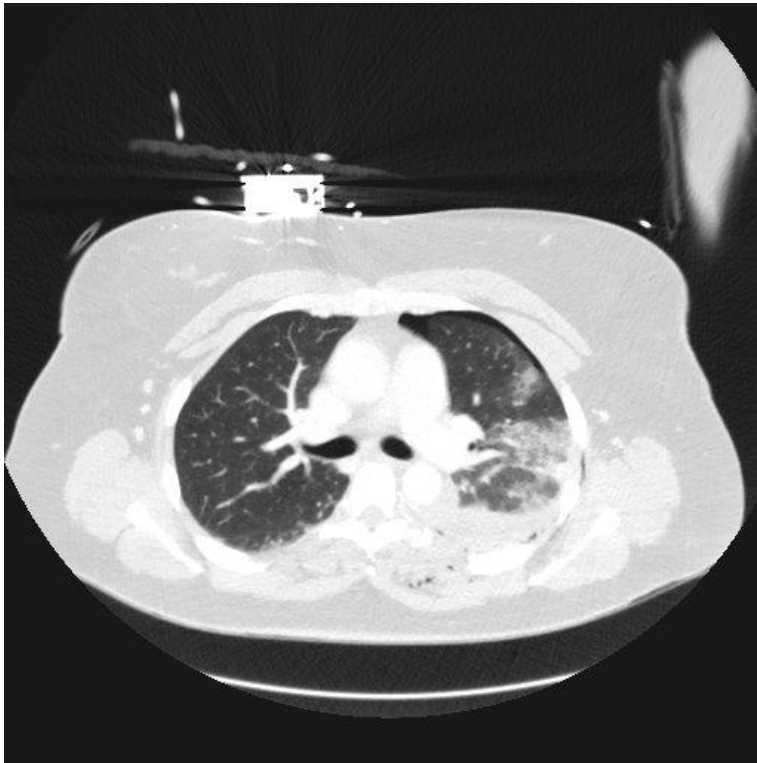


Abbildung 10: Schmäler Pneumothorax links mit Lungenkontusionen und Hämatothorax.

Lungenkontusion

Als luftgefüllte Organe mit Grenzbereich zur flexiblen Thoraxwand sind die Lungen besonders anfällig für Verletzungen durch kinetische Energie⁷⁴. Pathophysiologisch kommt es zu einer Einblutung in die Alveolen mit resultierendem Ödem und Entzündungsreaktion, jedoch ohne Zerreißung des Lungengewebes^{75,72,76}. Dies geht mit einer Reduktion des Sauerstoffpartialdrucks (pO₂), einer Reduktion der pulmonalen Compliance, Erhöhung des pulmonalen Gefäßwiderstands und einem erhöhten Shuntvolumen einher^{77,78}. Der pulmonale Schaden erreicht sein Maximum innerhalb der ersten 24 Stunden, wobei sich klinisch je nach Ausmaß eine Hypoxie entwickeln kann^{75,79}. Abzugrenzen ist die Lungenkontusion von der Laceration, bei der es zu einer Zerreißung des Lungengewebes mit Bildung von Kavitationen kommt, welche luft- oder blutgefüllt sein können, während Kontusionen sich in der Computertomographie als unscharf berandete, fleckförmige bzw. flächige milchglasartige Verdichtungen oder Konsolidierungen darstellen (Abb. 10 und 11)⁷³. Mögliche Komplikationen sind die Pneumonie und das „Acute Respiratory Distress Syndrome“ (ARDS). Behandelt werden Lungenkontusionen in erster Linie mittels supportiver Maßnahmen, wie ausreichender Oxygenierung, Schmerztherapie und früher Mobilisierung, wobei je nach Verlauf auch eine invasive Beatmung notwendig werden kann⁷⁵.

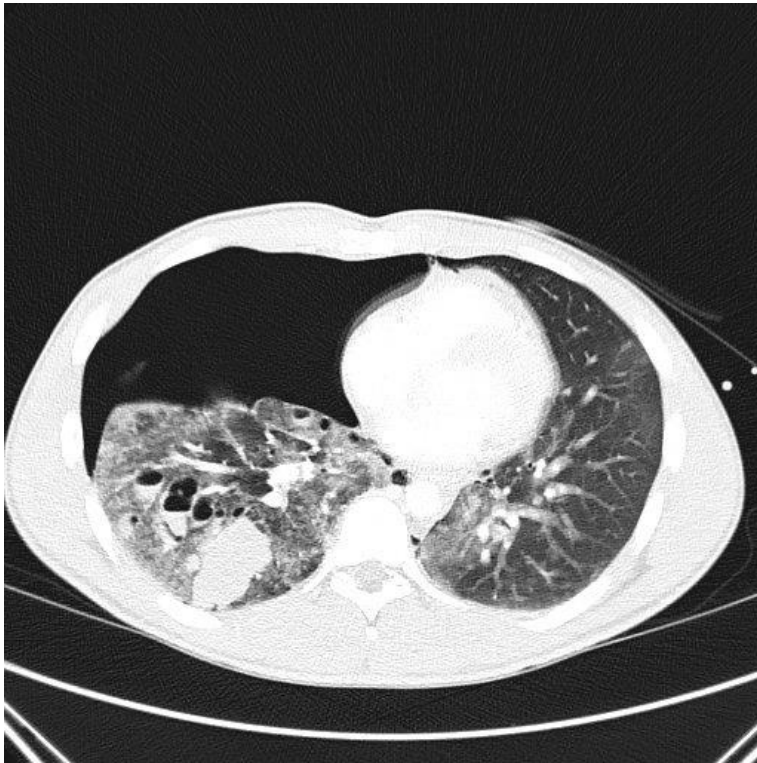


Abbildung 11: Schweres Thoraxtrauma mit Spannungspneumothorax rechts und multiplen Lungenlazerationen.

Verletzungen der Aorta

Auch bei Verletzungen der großen Gefäße, insbesondere der Aorta muss zwischen stumpfem und penetrierendem Trauma unterschieden werden. Die Mehrzahl der Fälle resultiert durch stumpfe Gewalteinwirkung, am häufigsten durch Dezelerationskräfte im Rahmen von Verkehrsunfällen⁸⁰. Dabei versterben bis zu 80 % der betroffenen Patient*innen noch am Unfallort⁸¹. Auch die hospitalisierten Patient*innen weisen mit 46 % eine hohe Mortalität auf^{82,83}. Durch abrupte Dezeleration kommt es zur Einwirkung starker Scherkräfte auf die Tunica intima bzw. zu einer Quetschung der Aorta zwischen anteriorer Thoraxwand und Wirbelsäule. Die Folge ist eine Rissbildung in der Tunica intima und media mit Entwicklung einer Dissektion, welche zur Bildung eines Pseudoaneurysmas oder einer Aortenruptur führen kann^{82,84}. Der Aortenisthmus stellt dabei als Übergangsbereich zwischen relativ beweglichem Aortenbogen und fixierter Aorta descendens eine Prädilektionsstelle für das stumpfe Aortentrauma dar^{81,85,86}. Da die klinische Präsentation oft nur unspezifisch ist, kommt der Bildgebung, insbesondere der CTA bei der Diagnose eine besondere Rolle zuteil. Die Thoraxübersichtsaufnahme kann Verletzungen der thorakalen Aorta nur indirekt darstellen, zum Beispiel durch den Nachweis einer Mediastinalverbreiterung oder eines Hämatothorax mit einer zwar hohen Sensitivität von 90-95 %, jedoch nur geringer Spezifität von 5-10 %⁸⁷. Dagegen ist mittels CTA der direkte Nachweis und die Gradeinteilung von Intimaverletzungen (Grad I), intramuraler Hämatoome (Grad II), Pseudoaneurysmen (Grad III) und Perforationen

(Grad IV) möglich⁸⁶. Auch liefert sie die für die weitere Therapieplanung notwendigen Informationen über die Distanz zu den supraaortalen Gefäßabgängen, der Art und Ausdehnung der Verletzung, des Aortendurchmessers sowie möglicher anatomischer Normvarianten⁷³.

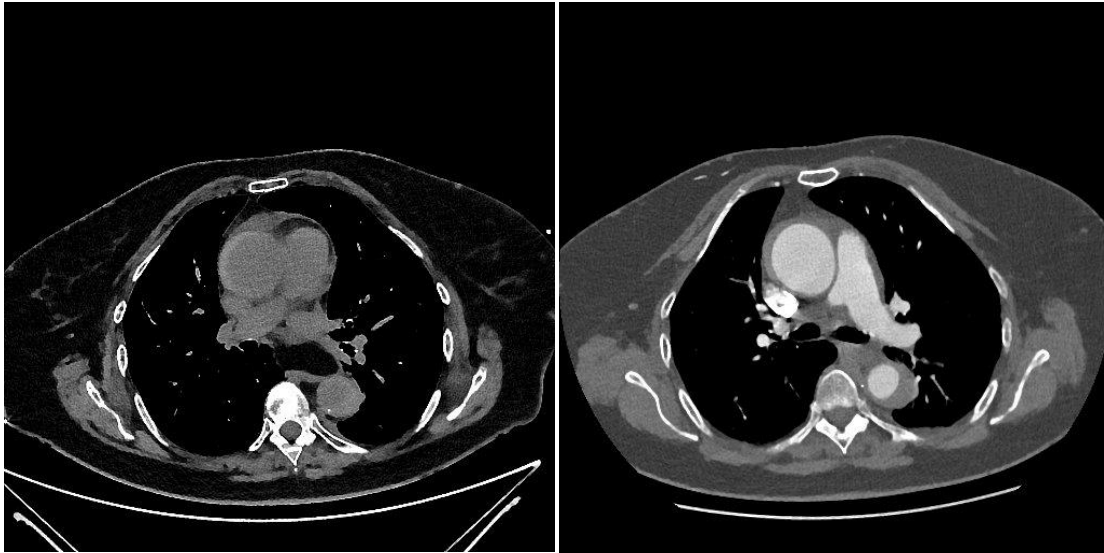


Abbildung 12: Langstreckiges intramurales Hämatom der thorakalen Aorta. Links: In der nativen CT-Untersuchung erkennt man das hyperdense Wandhämatom. Rechts: Erst in der CTA lässt sich das Gefäßlumen beurteilen.

Bei instabilen Patient*innen kann die Diagnose mittels transösophagealer Echokardiografie gesichert werden⁸². Die Therapie richtet sich nach den Empfehlungen der „Society for Vascular Surgery“. Hierbei werden isolierte Intimaeinrisse (Grad I) konservativ, mittels medikamentöser Blutdruckreduktion und höhergradige Verletzungen (Grad II-IV) mittels endovaskulärem Stent („thoracic endovascular aortic repair“; TEVAR) versorgt⁸⁸.

2.4.3. Wirbelsäulenverletzungen

Mit etwa 30 % stellen Verletzungen der Wirbelsäule die dritthäufigste Verletzungsregion dar⁴. Begleitende Verletzungen des Myelons treten dabei in ca. 8 % der Fälle auf⁸⁹. Die Brust- und Lendenwirbelsäule ist mit 70-80 % deutlich häufiger betroffen als die Halswirbelsäule (HWS). Am häufigsten manifestieren sich Verletzungen dabei am Übergang der flexiblen Lendenwirbelsäule (LWS) zu der relativ rigiden Brustwirbelsäule (BWS)⁹⁰. Liegt eine Verletzung der HWS vor, ist eine altersabhängige Verteilung zu beobachten. So sind Verletzungen der oberen HWS im Segment HWK 1 und HWK 2 bei Patient*innen ab dem 70. Lebensjahr deutlich häufiger als Verletzungen der unteren HWS, insbesondere im Übergang zur BWS, welche bei jüngeren Patient*innen dominieren⁹¹. Auch die Art der Verletzung zeigt

altersabhängige Unterschiede. Während es bei älteren Patient*innen durch die reduzierte Knochendichte häufiger zu Frakturen kommt, ist der Anteil ligamentärer Verletzungen bei jüngeren Patient*innen höher⁹².

Eingeteilt werden Wirbelsäulenverletzungen mittels AO-Klassifikation, wobei Kompressionsverletzungen (A-Frakturen), Distraktionsverletzungen (B-Frakturen) und Dislokationsverletzungen (C-Frakturen) unterschieden und weiter subgruppiert werden. Je nach Verletzungsmuster lassen sich stabile von instabilen Frakturen unterscheiden⁹³. Weitere Klassifikationssysteme bestehen für die obere HWS, zum Beispiel die Klassifikation von Frakturen des Atlas nach Gehweiler⁹⁴ oder von Frakturen des Dens axis nach Anderson und D'Alonzo⁹⁵.

Bei Verdacht auf eine Wirbelsäulenverletzung ist diese vorzugsweise mittels CT nachzuweisen und lediglich ersatzweise durch Röntgenübersichtsaufnahmen in zwei Ebenen. Sofern unklare neurologische Defizite bestehen, können diese mittels MRT abgeklärt werden, wobei dies lediglich bei kreislaufstabilen Patient*innen sinnvoll ist^{16,44}.

Die Therapie richtet sich nach der Stabilität der Fraktur und begleitender neurologischer Ausfälle mit dem Ziel, persistierende neurologische Defizite, Instabilitäten und Fehlstellungen abzuwenden⁹⁰. Während stabile Frakturen in der Regel konservativ behandelt werden, ist bei instabilen oder offenen Frakturen meist eine zügige operative Versorgung noch am gleichen Tag nötig, insbesondere wenn neurologische Ausfälle vorliegen⁴⁴. Dabei werden über einen anterioren oder posterioren Zugang Fehlstellungen reponiert, spinale Einengungen dekomprimiert und die reponierte Stellung mittels Spondylodese fixiert⁹⁰.

2.4.4. Abdominelle Verletzungen

Verletzungen des Abdomens beim Polytrauma sind mit 14,4 % eher selten⁴. Analog zum Thoraxtrauma wird zwischen einer stumpfen und penetrierenden Gewalteinwirkung unterschieden, wobei penetrierende Verletzungen in Europa selten sind⁹⁶. Beim stumpfen Trauma ist eine hohe Krafteinwirkung erforderlich, wie sie z. B. bei hochrasanten Verkehrsunfällen oder Stürzen auftritt. Dabei kommt es durch Dezelerationskräfte zu Scherverletzungen, oft an anatomisch prädisponierten Fixationspunkten der Organe, z. B. in Nähe des Hilus oder der mesenterialen Aufhängung⁹⁷. Andererseits können die Organe auch direkt durch einwirkende Kompressionskräfte verletzt werden.

Abdominelle Verletzungen betreffen am häufigsten die Leber und die Milz^{96,97,98}. Der Goldstandard zur Detektion ist die kontrastmittelgestützte CT. Hier stellen sich Lacerationen als hypodense, lineare oder flächige Defekte dar (Abb. 13 und 14)⁹⁷. Je nach Ausmaß der Laceration, des Hämatoms und möglicher vaskulärer Schäden kann der Schweregrad der Verletzung nach der „American Association for the Surgery of Trauma - Organ Injury Scale“ (AAST-OIS) eingeteilt werden (Tab. 8).

Leber

Grad	Typ	Kennzeichen
I	Hämatom	subkapsulär < 10 % der Oberfläche
	Lazeration	<1 cm Tiefe
II	Hämatom	subkapsulär 10-50 % der Oberfläche, <10 cm im Durchmesser
	Lazeration	1-3 cm Tiefe, <10 cm Länge
III	Hämatom	subkapsulär > 50 % der Oberfläche, > 10 cm im Durchmesser
	Lazeration	> 3 cm Tiefe
IV	Lazeration	25-75 % eines Leberlappens oder 1-3 Segmente
V	Lazeration	> 75 % eines Leberlappens oder > 3 Segmente
	Gefäßverletzung	retrohepatische V. cava inferior oder Lebervenen
VI	Gefäßverletzung	Leberabriss

Tabelle 8: Schweregrade von Leberverletzungen der „American Association for the Surgery of Trauma“(AAST)

Die Klassifikation nach der „World Society of Emergency Surgery“ (WSES) ergänzt die auf rein anatomischen Gesichtspunkten basierende Einteilung der AAST um das Kriterium der hämodynamischen Stabilität⁹⁹. Daraus resultiert:

Geringe Leberverletzungen:

WSES Grad I = AAST-OIS Grad I-II und hämodynamisch stabil

Moderate Leberverletzungen:

WSES Grad II = AAST-OIS Grad III und hämodynamisch stabil

Schwere Leberverletzungen:

WSES Grad III = AAST-OIS Grad IV-V und hämodynamisch stabil

WSES Grad IV = AAST-OIS Grad I-VI und hämodynamisch instabil



Abbildung 13: Leberlazeration Grad IV nach der „American Association for the Surgery of Trauma - Organ Injury Scale“ (AAST-OIS).

Hämodynamisch stabile Verletzungen können in der Regel konservativ versorgt werden⁹⁹. Dies trifft beim Lebertrauma auf etwa 80 % der Fälle zu⁹⁶.

Milz

Beim Milztrauma erfolgt die Einteilung des Schweregrades nach AAST ebenfalls anhand anatomischer Gesichtspunkte (Tab. 9)¹⁰⁰. Therapieentscheidend bei Milzverletzungen ist die Frage nach der hämodynamischen Stabilität der Patient*innen, was analog zur Leber anhand der WSES-Klassifikation erfasst wird¹⁰⁰:

Geringe Milzverletzungen:

WSES Grad I = AAST-OIS Grad I-II und hämodynamisch stabil

Moderate Milzverletzungen:

WSES Grad II = AAST-OIS Grad III und hämodynamisch stabil

WSES Grad III = AAST-OIS Grad IV-V und hämodynamisch stabil

Schwere Milzverletzungen:

WSES Grad IV = AAST-OIS Grad I-VI und hämodynamisch instabil

Grad	Typ	Kennzeichen
I	Hämatom	subkapsulär < 10 % der Oberfläche
	Lazeration	Kapselriss < 1 cm Tiefe
II	Hämatom	subkapsulär 10-50 % der Oberfläche intraparenchymatös < 5 cm Durchmesser
	Lazeration	1-3 cm Tiefe keine Affektion der Trabekelgefäße
III	Hämatom	subkapsulär > 50 % der Oberfläche subkapsulär oder intraparenchymatös >5 cm mit Ruptur Progredienz
	Lazeration	>3 cm Tiefe Affektion der Trabekelgefäße
IV	Lazeration	Verletzung von Segment- oder Hilusgefäßen mit Devaskularisation > 25 % der Milz
V	Lazeration	vollständige Berstung der Milz
	Gefäßverletzung	Hilusgefäßverletzung mit resultierender kompletter Devaskularisation

Tabelle 9: Schweregrade von Milzverletzungen nach der „American Association for the Surgery of Trauma - Organ Injury Scale“ (AAST-OIS).



Abbildung 14: Milzlazeration Grad III nach der „American Association for the Surgery of Trauma - Organ Injury Scale“ (AAST-OIS).

Unabhängig vom Verletzungsgrad nach AAST sollten hämodynamisch stabile Patient*innen ohne sonstige operationspflichtige Begleitverletzungen primär konservativ behandelt werden, wobei die konservative Therapie höhergradiger Milzverletzungen eine entsprechende Infrastruktur mit Intensivstation und ausreichenden Kapazitäten von Blutersatzprodukten, interventioneller Radiologie sowie Operationssälen erfordert¹⁰⁰.

Sofern eine Operation notwendig ist, ist die Splenektomie die Therapie der Wahl⁹⁶. Zu beachten ist jedoch eine erhöhte Anfälligkeit, insbesondere von Kindern nach Splenektomie für Infektionen mit bekapselten Bakterien wie z. B. Pneumokokken oder Meningokokken, bis hin zur Postsplenektomie-sepsis^{96,101}. Das Lebenszeitrisko hierfür beträgt nach Splenektomie etwa 2 % mit einer Mortalität von über 50 %¹⁰². Eine subtotale Splenektomie ist technisch möglich, aber herausfordernd¹⁰³.

Dem gegenübergestellt ist das Risiko einer zweizeitigen Milzruptur bei konservativer Therapie mit etwa 1 % und einer Letalität von 5 – 15 %¹⁰⁴.

Urogenitaltrakt

Aufgrund der relativ geschützten Lage im Retroperitoneum sind Verletzungen der Nieren mit 0,3 – 3,25 % selten, stellen aber die häufigste Manifestation urogenitaler Verletzungen dar¹⁰⁵. Besteht der Verdacht auf eine Verletzung des Nierenbeckenkelchsystems oder der Ureter, kann diese mittels urographischer Kontrastmittelphase in der Computertomographie 5-15 Minuten nach Kontrastmittelgabe detektiert werden⁹⁷. Die hämodynamische Instabilität stellt eine absolute Operationsindikation dar, während Verletzungen des Nierenbeckenkelchsystems mit resultierenden Urinomen, welche nicht perkutan entlastet werden können, relative Operationsindikationen darstellen¹⁰⁵.

Pankreas

Pankreasverletzungen resultieren häufig durch Anprallereignisse gegen den Oberbauch, wie z. B. durch das Lenkrad oder den Fahrradlenker, häufig in Kombination mit Leber- und Milzverletzungen⁹⁷. Sie sind durch die Lage des Pankreas im Retroperitoneum mit 2 % ebenfalls selten¹⁰⁶. Am häufigsten manifestieren sie sich im Pankreaskorpus und im Übergang zum Pankreaskopf, wobei insbesondere in den ersten 12 Stunden nach dem Trauma die Computertomographie unauffällig sein kann⁹⁷. Maßgebend für das Outcome ist die Zeit bis zur Diagnose und die Beteiligung des Ductus pancreaticus^{96,97,106}. Bei unklaren Befunden kann zum Ausschluss einer Beteiligung des Pankreasganges eine MRT mit Magnetresonanz-Cholangiopankreatikographie (MRCP) ergänzt werden. Die höchste Genauigkeit liefert jedoch die Endoskopisch retrograde Cholangiopankreatikographie (ERCP) mit der zusätzlichen

Möglichkeit der unmittelbaren interventionellen Therapie, z. B. mittels Stent¹⁰⁶. Komplikationen wie Fisteln, Abszesse, Pankreatitiden und Pseudozysten sind mit 30-50 % häufig, daher wird die Indikation zur endoskopischen oder operativen Therapie, insbesondere bei vorliegender Verletzung des Ductus pancreaticus großzügig gestellt^{96,106}.

Magen-Darm-Trakt

Verletzungen der Hohlorgane sind mit etwa 5 % ebenfalls selten und betreffen am häufigsten den Dünndarm^{96,97,107}. Prädispositionsstellen sind beim stumpfen Bauchtrauma das proximale Jejunum distal des Treitz-Bandes und das terminale Ileum aufgrund der dortigen Fixierung^{97,107}. Das Kolon ist häufiger bei penetrierenden Verletzungen betroffen⁹⁶. In der Traumaspirale lassen sich bei Darmverletzungen freie abdominelle Luft, freie Flüssigkeit, Kontinuitätsunterbrechungen bzw. Irregularitäten der Darmwand, ggf. mit Zeichen der Darmischämie oder mesenteriale Hämatome nachweisen^{97,107}. Die schnelle und korrekte Diagnose ist essenziell, da eine verzögerte Detektion von mehr als 8 Stunden mit einer deutlichen Prognoseverschlechterung einhergeht^{97,107,108}. Da die radiologischen und klinischen Befunde häufig unspezifisch sind, ist die korrekte Indikationsstellung zur operativen Therapie oft schwierig. Lassen sich jedoch Zeichen einer Peritonitis bzw. mesenterialen Ischämie, eine Kontinuitätsunterbrechung des Darms, Kontrastmittele extravasate oder freie Luft abgrenzen sollte dringlich operiert werden¹⁰⁸.

2.5. Fragestellung und Ziel der Arbeit

In Deutschland gibt es eine anhaltende Debatte über den Nutzen der abdominalen Folgesonographie (AFS) nach Polytrauma. Die Untersuchung wird in der Regel 6 Stunden nach der Aufnahme und der GKCT als Teil der Routineuntersuchung der Bildgebung durchgeführt, selbst in größeren Traumazentren der Stufe 1. Dieser Ansatz ist immer noch üblich, auch wenn die aktuellen deutschen S3-Leitlinien für die Behandlung des Polytraumas keine AFS verlangen, wenn die GKCT bei der Aufnahme durchgeführt wird^{16,109,110}. Die Empfehlung, auf die AFS zu verzichten, wurde im Jahr 2011 ausgesprochen, als die früheren Leitlinien aktualisiert wurden^{110,111,112}.

Interessanterweise wird die AFS immer noch häufig bei Patient*innen ohne abdominale Symptome oder Verletzungen in der initialen GKCT durchgeführt. Dies war bis 2014 im Traumazentrum der Stufe 1 der Uniklinik Köln gängige Praxis und wurde darüber hinaus noch in vielen deutschen Traumazentren auf diese Weise praktiziert.

Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, die überarbeiteten Leitlinien im Hinblick auf die Nichtanwendung der AFS zu evaluieren, und zwar auf der Grundlage einer retrospektiven Überprüfung von Patient*innendaten aus dem Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie der Uniklinik Köln mittels eines direkten Vergleichs unterschiedlicher diagnostischer Strategien, die aufgrund der Überarbeitung der „Institutional Standard Operating Procedures“ (SOPs) gemäß den deutschen S3-Leitlinien im Jahr 2014 angepasst wurden. Gemäß diesen Leitlinien wurde die AFS bei Patient*innen mit Polytrauma, die keine klinischen Zeichen eines abdominalen Traumas und einen unauffälligen abdominalen Befund in der GKCT hatten, aufgegeben¹¹⁰.

3. Material und Methoden¹¹⁰

3.1. Studiendesign

Diese retrospektive Arbeit vergleicht zwei unterschiedliche Patient*innenkollektive anhand von Daten, welche im Rahmen der klinischen Regelversorgung akquiriert wurden. Für Gruppe A wurden alle Patient*innen rekrutiert, die zwischen Februar 2012 und September 2014 in die Universitätsklinik Köln als Traumazentrum der Stufe 1 mit präklinischem Verdacht auf das Vorliegen eines Polytraumas, jedoch ohne klinische Anzeichen einer abdominellen Verletzung aufgenommen wurden. Alle Patient*innen dieser Gruppe wurden einer vollständigen radiologischen Diagnostik unterzogen, einschließlich initialer FAST im Schockraum, anschließender GKCT und einer AFS im Rahmen des „Tertiary Surveys“.

Für Gruppe B wurden alle fortlaufenden Polytraumaeinweisungen rekrutiert, die zwischen September 2014 und August 2015 ohne klinische Anzeichen eines abdominellen Traumas in das Traumazentrum der Universitätsklinik Köln aufgenommen wurden. Bis auf die Durchführung der AFS, welche bis 2014 zum Einsatz kam, war das Behandlungsprotokoll beider Gruppen gleich.

Diese Arbeit wurde von der institutionellen Prüfungskommission der medizinischen Fakultät der Universität zu Köln genehmigt, die aufgrund des retrospektiven, beobachtenden Charakters der Studie auf das Erfordernis der schriftlichen Zustimmung verzichtete.

3.2. Bildgebung

Die initiale FAST-Untersuchung wurde im Schockraum von einer/m erfahrenen Assistenzarzt/-ärztin der Radiologie oder Facharzt/-ärztin für Radiologie durchgeführt. Es wurde eines der institutseigenen Sonographiegeräte (LOGIQ P5, P6 oder S7, GE Healthcare, Waukesha, Washington) mit einer konvexen 3,5-MHz-Sonde verwendet. Es wurden Flankenschnitte des rechten und linken oberen Quadranten, Quer- und Längsansichten der suprapubischen Region und Queransichten der Subxiphoid-Region durchgeführt. Bei Verdacht auf einen Hämato- oder Pneumothorax wurden auf eine eFAST erweitert mit zusätzlichen Thoraxlängsansichten beidseits in der Medioklavikularlinie.

Die GKCT umfasste eine native Untersuchung des Neurocraniums und eine kontrastmittelgestützte Untersuchung des Thorax, des Abdomens und des Beckens, inklusive der gesamten Wirbelsäule. Hierbei wurden zwei Scan-Protokolle verwendet; von Februar 2012 bis Mai 2015 wurden native Aufnahmen des Kopfes und der Halswirbelsäule angefertigt, gefolgt von kontrastmittelgestützten Aufnahmen des Thorax und des Abdomens in portalvenöser Phase (Verzögerung: 49 Sekunden nachdem mittels „Bolos-Tracking“ in der Aorta thoracica descendens eine vordefinierte Schwelle von 120 HU erreicht wurde). Ab Mai 2015 wurden native Aufnahmen des Neurocraniums und Aufnahmen in portal-venöser

Kontrastmittelphase von der Schädelbasis bis zum Becken nach intravenöser Injektion von Kontrastmittel durchgeführt. Bei Verdacht auf eine Verletzung der Halswirbelsäule wurde diese in arterieller Kontrastmittelphase als CT-Angiografie untersucht. Alle Untersuchungen wurden mit einem 256-zeiligen Multislice-Computertomographen (iCT; Philips Healthcare, Arnheim, Niederlande) durchgeführt.

In Gruppe A wurde die AFS etwa 6 Stunden nach der ersten Patientenuntersuchung mit einem der institutseigenen Sonographiegeräte durchgeführt. Dabei wurden die gleichen Standardschnitte wie bei der FAST dargestellt.

Die akquirierten Bilder wurden anhand der PACS-Software von Agfa HealthCare (IMPAX EE; Agfa HealthCare, Bonn, Deutschland) befundet. Die radiologischen Befundberichte und die Zeit zwischen GKCT und AFS wurden aus dem radiologischen Informationssystem (ORBIS RIS; Agfa HealthCare) erfasst. Alle nicht-abdominellen Verletzungen in der GKCT wurden analysiert und dokumentiert. Falls sich in der AFS freie Flüssigkeit oder eine Organverletzung zeigte, wurden die Bilder der initialen GKCT von einem erfahrenen Facharzt für Radiologie (mit 6-jähriger Ausbildung) erneut gesichtet. So wurde beurteilt, ob die Auffälligkeiten in der AFS allein durch die Anwendung der GKCT hätten entdeckt werden können.

3.3. Klinische Daten

Klinische Daten wurden aus dem Krankenhausinformationssystem (ORBIS, Agfa HealthCare) abgerufen. Um den Schweregrad des Traumas zu bewerten, wurden der Traumamechanismus und der Wert des „Glasgow Coma Scale“ (GCS) herangezogen. Zusätzlich wurde der ISS in einer Stichprobe von jeweils 50 Patient*innen pro Gruppe berechnet. Informationen zum klinischen Verlauf wurden aus den Aufzeichnungen der Notfallabteilungen und Intensivstationen gewonnen. Diese umfassten Dokumentationen der Visiten, klinische Konsile und Entlassungsbriefe. Das Auftreten abdomineller Beschwerden und die Notwendigkeit einer Operation oder einer weiteren CT-Untersuchung während des Aufenthaltes wurden dokumentiert. Bei Todesfällen wurde die Ursache notiert und im Hinblick auf eine nicht erkannte abdominelle Verletzung bewertet.

3.4. Statistische Analyse

Die Stichprobengröße ergibt eine Genauigkeit von $\pm 5\%$, entsprechend der Halbwertsbreite des 95%-Konfidenzintervalls¹¹³. Statistische Analysen waren rein deskriptiv. Kontinuierliche Variablen werden als Mittelwert (Standardabweichung) und kategoriale Variablen als Anzahl (Prozentsatz) dargestellt. Die Berechnungen wurden mit Microsoft Excel (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) und Stata (StataCorp LP, College Station, TX, USA) durchgeführt.

4. Ergebnisse¹¹⁰

Insgesamt wurden für jede Gruppe 370 aufeinanderfolgende Patient*innen mit Einweisung als Polytrauma rekrutiert. Die Merkmale der Patient*innenkollektive sind in Tabelle 10 dargestellt. In beiden Gruppen waren Männer deutlich stärker vertreten mit nahezu identischem Anteil (Gruppe A: 69,7 %; Gruppe B: 69,4 %), ähnlich dem Kollektiv des Deutschen Traumaregisters (71 %). Der Altersgipfel liegt in beiden Gruppen im mittleren Lebensalter (Gruppe A: $42,5 \pm 21,4$ Jahre; Gruppe B: $46,23 \pm 22,5$ Jahre). Der mittlere GCS war in beiden Gruppen etwas höher als im Kollektiv des DTR, wobei Gruppe B im Vergleich zu Gruppe A einen geringeren GCS aufwies. Die Zahl der Patient*innen mit einem GCS < 8 war in Gruppe B höher als in Gruppe A (60 vs. 44). Entsprechend gab es zwischen den Gruppen geringe Unterschiede in den ISS-Werten. In Gruppe B war der mittlere ISS etwas höher (6,3 in Gruppe A vs. 8,2 in Gruppe B) und in beiden Gruppen war er niedriger als im DTR.

Die Zahl der schwer verletzten Patient*innen mit einem ISS ≥ 16 war ebenfalls höher in Gruppe B und in beiden Gruppen niedriger als im DTR (Gruppe A: 6 %, Gruppe B: 22 %, DTR: 46 %). Bezüglich der mittleren Hospitalisationszeit gab es zwischen den beiden Gruppen keine wesentlichen Unterschiede (Gruppe A: 9,14 Tage; Gruppe B: 9,1 Tage), bei kürzerer mittlerer Verweildauer im Vergleich zu den Daten aus dem DTR (17,3 Tage). In Gruppe A kam es zu 7 Todesfällen (1,9%), in Gruppe B zu 22 Todesfällen (5,9 %), womit die Mortalität unterhalb der Mortalität im DTR lag (11,8 %). Die Todesursachen sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Eigenschaften		Gruppe A (n=370)	Gruppe B (n=370)	Deutsches Traumaregister DGU: 10 Jahre (n=180.870)
Geschlecht	männlich	258 (69,7 %)	257 (69,4 %)	128.417 (71 %)
	weiblich	112 (30,3 %)	113 (30,6 %)	52.453 (29 %)
Alter (Jahre)	Mittelwert	42,5 ± 21,4	46,23 ± 22,5	49,2
	Min.	1,6	0,8	-
	Max.	92,8	101,8	-
	< 18 Jahre	n=40	n=23	-
GCS	Mittelwert	12,9	12,2	10,9
	Min.	3	3	-
	Max.	15	15	-
	< 8	39 (10,5 %)	57 (15,4 %)	29.805 (19,7 %)
ISS	Mittelwert	6,3	8,2	18,1
	Min.	1	1	-
	Max.	27	26	-
	≥ 16	3/50 (6 %)	11/50 (22 %)	17.630 (45 %)
Hospitalisation (Tage)	Mittelwert	9,14 (n=322)	9,1 (n=325)	17,3
	Min.	0	0	-
	Max.	305	307	-
Todesfälle		7 (1,9 %)	22 (5,9 %)	20.123 (11,8 %)

Tabelle 10: Studienkollektiv inklusive klinischer Parameter.

Todesursache	Gruppe A	Gruppe B
Neurologisch	3	14
Kardiovaskulär	2	2
Infektion	1	4
Respiratorisch	1	1
Metabolisch	0	1
Insgesamt	7	22

Tabelle 11: Todesursachen.

Die häufigste Unfallursache stellten in beiden Gruppen Verkehrsunfälle dar (Gruppe A: 61,3 %; Gruppe B: 53,2 %), insbesondere Autounfälle. Verkehrsunfälle unter Beteiligung von Motorradfahrern, Fahrradfahrern, Straßenbahnen und Fußgängern traten im Vergleich hierzu etwas seltener auf. Den zweiten Platz der Unfallursachen belegen in beiden Gruppen Stürze (Gruppe A: 31,1 %; Gruppe B: 33 %). Während die Verteilung der Sturzhöhe auf < 3 m und ≥ 3 m in Gruppe A mit jeweils 55 Stürzen gleichmäßig war, wurden in Gruppe B häufiger Stürze < 3 m beobachtet. Die übrigen Unfallursachen verteilten sich auf Quetschungstraumata, bewusstlos aufgefundene Patient*innen und sonstige Unfallmechanismen. Tabelle 12 gibt die Unfallursachen wieder.

Thoraxverletzungen waren die häufigste Verletzungsfolge in Gruppe A (45,3 %), wobei ein Großteil der thorakalen Verletzungen auf Frakturen des Thorax entfiel, gefolgt von Lungenkontusionen und Pneumothoraces. Die gleiche Verteilung zeigte sich auch in Gruppe B, jedoch stellten die Thoraxverletzungen hier nur die zweithäufigste Verletzungsfolge nach Verletzungen des Kopfes dar (61,7 %). In Gruppe A lagen Kopfverletzungen auf dem zweiten Platz mit 40,9 %. In beiden Gruppen traten Schädelfrakturen häufiger auf als intrakranielle Blutungen, welche in Gruppe B deutlich häufiger festgestellt wurden. In beiden Gruppen stellten Wirbelsäulenverletzungen die dritthäufigste Verletzungsfolge dar (Gruppe A: 33,1 %; Gruppe B: 27,4 %). Verletzungen der oberen Extremität waren in beiden Gruppen häufiger als Verletzungen der unteren Extremität. Beckenverletzungen traten in Gruppe A mit 9,4 % häufiger auf (Gruppe B: 4,1 %). Einen Überblick über die extraabdominellen Verletzungsfolgen gibt Tabelle 13.

Unfallursache	Gruppe A (n=370)	Gruppe B (n=370)	Deutsches Traumaregister DGU: 10 Jahre (n=180.870)
PKW-Unfälle	73 (19,7 %)	94 (25,4 %)	39.280 (23,4 %)
< 80 km/h	15	27	-
> 80 km/h	19	21	-
unklares Tempo	39	46	-
Motorradunfälle	57 (15,4 %)	29 (7,8 %)	22.343 (13,3 %)
< 80 km/h	9	4	-
> 80 km/h	3	1	-
Unklares Tempo	45	24	-
Fahrradunfälle	37 (10 %)	40 (10,8 %)	15.232 (9,1 %)
Fußgänger	60 (16,2 %)	34 (9,2 %)	11.983 (7,1 %)
vs. PKW	50	25	-
vs. Zug	9	8	-
Sonstige	1	1	-
Stürze	115 (31,1 %)	122 (33 %)	66.306 (39,5 %)
< 3 m	55	75	-
≥ 3 m	55	42	-
unklare Höhe	5	5	-
Quetschtrauma	8 (2,2 %)	4 (1,1 %)	-
Bewusstlos aufgefunden	7 (1,9 %)	30 (9 %)	-
Sonstige	13 (3,5 %)	17 (5 %)	-

Tabelle 12: Unfallursachen der Patientenkollektive aus Gruppe A und B. Vergleich mit Daten des Deutschen Traumaregisters (DTR) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU).

Lokalisation	Art der Verletzung	Gruppe A (n=254)	Gruppe B (n=230)	DTR 2013-2015 (n=92.894)
Thorax		115 (45,3 %)	104 (45,2 %)	44,7 %
	Fraktur	87	67	-
	Lungenkontusion	37	38	-
	Pneumothorax	23	31	-
	Pleuraerguss	7	8	-
	Hämorrhagie	4	3	-
	Lungenlazeration	1	1	-
Kopf		104 (40,9 %)	142 (61,7 %)	48 %
	Schädelfraktur	98	105	-
	Intrakranielle Blutung	44	81	-
Wirbelsäule		84 (33,1 %)	62 (27,4 %)	28,2 %
	Fraktur	83	62	-
	Hämatom	6	2	-
Obere Extremität		33 (13,0 %)	27 (11,7 %)	28,2 %
	Fraktur	30	25	-
	Andere	3	2	-
Untere Extremität		22 (8,7 %)	20 (8,7 %)	27 %
	Fraktur	21	20	-
	Andere	3	0	-
Becken		24 (9,4 %)	15 (4,1 %)	13,3 %
	Fraktur	23	15	-
	Hämatom	1	0	-
Insgesamt		383	370	-

Tabelle 13: Extraabdominelle Verletzungsfolgen der Patientenkollektive aus Gruppe A und B. Vergleich mit Daten des Deutschen Traumaregisters (DTR) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU).

In Gruppe A wurden durch die abdominelle Folgesonographie (AFS) bei neun Patient*innen winzige Mengen freier Flüssigkeit (FF) detektiert. Hiervon betroffen waren drei Frauen, vier Männer und zwei Kinder. Ursächliche Verletzungen der abdominalen Organe oder eine begleitende klinische Verschlechterung wurden bei keinem dieser Patient*innen beobachtet und keiner der Befunde führte zu therapeutischen Konsequenzen. Auch insgesamt wies die AFS in Gruppe A keine übersehene abdominelle Verletzung nach. In Gruppe B wurde keine versäumte abdominelle Verletzung beobachtet, welche zu einer klinischen Verschlechterung oder zum Tod von Patient*innen führte.

5. Diskussion

Die Bildgebung ist ein wichtiger Pfeiler in der Versorgung des Polytraumas. Die Optimierung effizienter Bildgebungsprotokolle stellt eine fortlaufende Herausforderung dar. Zu diesem Zwecke wurden in dieser Arbeit zwei verschiedene Bildgebungsprotokolle im Rahmen der Versorgung des Polytraumas verglichen: Einerseits die Durchführung der AFS, wie sie in Deutschland in vielen Zentren weithin praktiziert wird und andererseits der Verzicht auf die AFS, wie es in neueren Studien und Leitlinien vorgeschlagen wird¹¹⁰. Die Auswertung von 740 Patient*innen, die in beiden Vergleichsgruppen als Polytrauma in die Notaufnahme aufgenommen wurden, ergab, dass die AFS keinen zusätzlichen diagnostischen Nutzen für Patient*innen bietet, die bei Bewusstsein sind und keine abdominellen Symptome oder abdominelle Verletzungen in der initialen GKCT aufweisen¹¹⁰. Die bildgebende Diagnostik des Polytraumas beginnt mit der FAST als primäre Beurteilung von abdominellen und thorakalen Verletzungen. Als Nächstes wird die GKCT durchgeführt. Im Jahr 2013 veröffentlichten Huber et al. eine multizentrische Studie mit 16.719 Patient*innen, in der sie berichteten, dass die Anwendung der MSCT die Überlebensrate selbst bei hämodynamisch instabilen Patient*innen signifikant erhöhte, wenn sie schnell durchgeführt wurde¹¹⁴. Mit dem zunehmenden Einsatz dieser Technik ist die Rolle der FAST infrage gestellt worden. Laut Livingston et al. beträgt der negative prädiktive Wert der GKCT 99 %, wodurch primär übersehene abdominelle Verletzungen heutzutage selten sind¹¹⁵. Die AFS ist trotz dessen in vielen deutschen Traumazentren immer noch gängige Praxis, entgegen der Ergebnisse mehrerer Studien, der Aktualisierung der Leitlinien und ungeachtet der möglichen Verzögerung von Behandlungsentscheidungen, des damit verbundenen Zeit- und Kostenaufwands sowie des Risikos falsch-negativer Ergebnisse¹¹⁰.

Insbesondere im Notdienst, aber auch im klinischen Regelbetrieb stehen zeitliche, personelle und finanzielle Ressourcen zunehmend unter Druck. Maurer et al. untersuchten die zeitliche und finanzielle Belastung durch die AFS und kamen zu dem Schluss, dass diese zu zeitaufwendig und teuer ist. Beispielsweise betrug der Zeitaufwand für das durchführende assistenzärztliche Personal 40 Minuten mit Gesamtkosten von ca. 29€ pro Untersuchung. Ferner stellten sie fest, dass die Technik bei polytraumatisierten Patient*Innen, bei denen die anfängliche GKCT keine abdominellen Verletzungen nachweist, nur einen geringen diagnostischen Gesamtgewinn bringt bei hohem personellen Aufwand für radiologische Abteilungen¹¹⁶. Diese liegen häufig nicht in unmittelbarer Nähe zu den behandelnden Intensiv- bzw. Überwachungsstationen, sodass die Abwesenheit des ärztlichen Personals während der Untersuchung häufig zur Verzögerung anderer Arbeitsabläufe führt. Geyer et al. untersuchten den klinischen Nutzen der AFS bei Patient*innen mit Polytrauma mit dem Ergebnis, dass die AFS keine relevanten zusätzlichen Informationen zu bekannten abdominellen Verletzungen

liefert. Falls aufgrund von klinischen oder laborchemischen Befunden indiziert, sollte eine CT bevorzugt werden, da durch die AFS Befunde übersehen werden können¹¹⁷.

Die Ergebnisse anderer Studien legen nahe, dass der geringe diagnostische Zusatznutzen der AFS durch die hohe Genauigkeit der GKCT, aber auch durch die Limitationen der Sonographie erklärt werden kann^{18,26,118}. Schneck et al. konnten keinen Einfluss auf die weitere Behandlung durch die Einbeziehung der AFS in die Tertiäruntersuchung bei Patient*innen ohne abdominelle Verletzungen in der initialen GKCT feststellen, auch wenn bei einzelnen Patient*innen geringe Mengen FF in der AFS auffielen¹¹⁹.

Auch im Kollektiv dieser Arbeit wurden bei einzelnen Patient*innen geringe Mengen FF in der AFS nachgewiesen. In Gruppe A handelte es sich bei allen Fällen, in denen FF durch die AFS detektiert wurde, um unspezifische Flüssigkeit ohne ursächliche Organläsionen oder klinische Symptomatik bzw. Konsequenz. Die Bedeutung von FF im traumatischen Kontext ist in der Literatur bereits ausführlich diskutiert worden^{120,121}. Die Prävalenz von sonographisch detektierbarer FF bei Frauen im gebärfähigen Alter liegt zwischen 36-40 % mit durchschnittlichen Volumina von 5-21 ml^{122,123,124}. Bei Frauen im gebärfähigen Alter kann eine geringe Menge isolierter FF in der Regel auf physiologische Flüssigkeit zurückgeführt werden, z. B. aufgrund von retrograder Menstruation, gerissenen ovariellen Follikeln oder erhöhter ovarieller Permeabilität aufgrund des Einflusses von Östrogen^{110,125}. In der klinischen Routine können geringe Mengen FF regelmäßig auch bei Männern und Kindern als asymptomatischer Nebebefund nachgewiesen werden. Rathaus et al. konnten geringe Mengen FF im kleinen Becken bei 7 % asymptomatischer Kinder detektieren¹²⁶. Yu et al. stellten fest, dass bei männlichen Patienten mit nicht penetrierendem Bauchtrauma geringe Mengen isolierter FF im kleinen Becken mit flüssigkeitsäquivalenten Dichtewerten wahrscheinlich kein Zeichen für eine Darm- oder Mesenterialverletzung ist¹²⁰. Auch Brown et al. konnten zeigen, dass geringe Mengen FF bei gesunden Männern häufig sonographisch darstellbar sind¹²⁷. Eine mögliche Erklärung für FF bei Männern und Kindern ist die Auskleidung des Peritoneums mit einer Lage aus Mesothelzellen, welche in der Lage sind, geringe Mengen FF zu sezernieren und zu resorbieren^{128,129}.

Die in dieser Arbeit in der AFS detektierte FF war bei allen Patient*innen retrospektiv in der Zweitbegutachtung bereits in der initialen GKCT abgrenzbar, weshalb die AFS keine neuen Befunde zutage brachte und auch keinen Einfluss auf die weitere Therapie hatte. Bei den beiden Kindern und drei Frauen, bei denen FF durch AFS detektiert wurde, wurden keine ursächlichen Organverletzungen detektiert und die Flüssigkeit als physiologisch im Rahmen der oben beschriebenen Mechanismen gewertet. Auch bei den vier Männern mit FF konnte keine ursächliche Organläsion gefunden werden und es erfolgte eine konservative Behandlung ohne weitere Komplikationen¹¹⁰. Brasel et al. kamen zu dem Schluss, dass Patient*innen mit isolierten Spuren von FF sicher beobachtet werden können und keine explorative Laparotomie

benötigen, wohingegen größere Mengen häufig Zeichen einer abdominellen Verletzung sind¹²¹. Wie die Daten aus früheren Studien^{117,116,119}, zeigen auch die Ergebnisse dieser Arbeit, dass die AFS keinen diagnostischen Nutzen oder therapeutische Konsequenzen hat. Dennoch ist der generelle Nutzen des „Tertiary Surveys“ ohne AFS bei initial nachgewiesener FF unbestritten, um eine klinische Verschlechterung im Verlauf auszuschließen.

Nach der Änderung der SOP im Traumazentrum der Uniklinik Köln im Jahr 2014 wurden keine nachteiligen klinischen Folgen aufgrund der Nichtanwendung der AFS beobachtet¹¹⁰.

Im Vergleich mit den Daten des DTR fällt auf, dass der durchschnittliche GCS niedriger als in den beiden Gruppen der vorliegenden Arbeit war. Dies liegt möglicherweise daran, dass sehr schwer verletzte Patient*innen zu instabil für eine GKCT waren und aus dieser Arbeit ausgeschlossen wurden¹¹⁰. Entsprechend der Leitlinie wurde die GKCT nur bei Patient*Innen durchgeführt, die hämodynamisch ausreichend stabil waren^{16,44}. Auch der Ausschluss von Patient*Innen mit abdominellen Verletzungen oder FF in dieser Arbeit ist eine Erklärung für den vergleichsweise höheren GCS bzw. niedrigeren mittleren ISS-Werte¹¹⁰. Schneck et al. beschreiben in einer vergleichbaren Studie ebenfalls entsprechend niedrigere ISS-Werte¹¹⁹. Ein Erklärungsansatz für die relativ niedrigen ISS-Werte ist die niederschwellige Schockraumaktivierung auf der Grundlage der deutschen Polytrauma-Leitlinie⁴⁴. Die präklinische Beurteilung der Verletzungsschwere ist ohnehin schwierig^{5,130}. In diesem Zusammenhang beschreiben Muhm et al. in 30 % der Fälle eine präklinische Überschätzung der Verletzungsschwere, in 36 % der Fälle eine Unterschätzung und in 34 % der Fälle eine übereinstimmende präklinische Schätzung der Verletzungsschwere⁵. Insgesamt kann somit von einer Vergleichbarkeit der Patient*innenprofile aus den beiden Gruppen der vorliegenden Arbeit und des DTR ausgegangen werden^{110,131}.

Aufgrund des in dieser Arbeit gewählten intrainstitutionellen Vergleichs wurden eine Reihe von Parametern ausgewertet, um größere Unterschiede zwischen den beiden Patient*innengruppen auszuschließen¹¹⁰. Zwar wurden keine großen demographischen Unterschiede festgestellt, jedoch unterschied sich der GCS-Score zwischen den beiden Gruppen erheblich. Auch die Anzahl der Patient*innen mit einem ISS ≥ 16 , die Häufigkeit von Kopfverletzungen und die Sterblichkeitsrate waren in Gruppe B höher. Dies und das häufigere Auftreten von Todesfällen neurologischer Ursache in Gruppe B, sind durch einen Selektionsbias, bedingt durch die Anwendung der AFS in Gruppe A zu erklären, der in Gruppe B nicht vorhanden war. In Gruppe A wurde die AFS bei Patient*innen, die die Einschlusskriterien erfüllten, regulär durchgeführt. Bei Patient*innen, die in erster Linie wegen Kopfverletzungen aufgenommen wurden, wurde auch vor der Änderung der SOP meist keine AFS durchgeführt und diese Patient*Innen wurden daher in Gruppe A ausgeschlossen, wohingegen solche Patient*innen in Gruppe B eingeschlossen wurden mit Einfluss auf die entsprechenden Parameter¹¹⁰.

Diese Arbeit hat einige Limitationen. Obwohl die Untersuchung aus einem intra-institutionellen Vorher-Nachher-Vergleich bestand, bleibt das retrospektive Design eine Einschränkung¹¹⁰. Zudem sind die in diese monozentrische Studie eingeschlossenen Patient*innen möglicherweise nicht repräsentativ für alle Traumapatient*innen und Untergruppen. Die Uniklinik Köln versorgt jedoch Patient*innen aus städtischen und ländlichen Gebieten und ist ein großes Level-1-Traumazentrum, sodass die Bedeutung dieses Bias nicht zu hoch ausfällt, insbesondere da im Vergleich der analysierten Parameter dieser Einrichtung mit dem DTR keine relevanten Unterschiede festgestellt wurden¹¹⁰. Zudem wurden bewusstlose Patient*innen trotz der Schwierigkeiten bei der Untersuchung nicht von dieser Arbeit ausgeschlossen. Die Äußerung abdomineller Schmerzen ist durch bewusstlose Patient*innen nicht möglich, sodass diese wichtige klinische Information zur Unterscheidung zwischen abdominell auffälligen und unauffälligen Patient*innen fehlt. Nichtsdestotrotz wurden keine Fälle registriert, in denen bewusstlose Patient*innen entweder von der AFS profitierten oder einem Nachteil durch die Nichtanwendung ausgesetzt waren. Allerdings ist die statistische Aussagekraft aufgrund der relativ kleinen Anzahl bewusstloser Patient*innen vergleichsweise gering und zukünftige Studien mit größeren Kohorten sind erforderlich¹¹⁰.

In Gruppe A finden sich 40 Kinder und Jugendliche und in Gruppe B 23. Die Unterschiede in beiden Gruppen sind durch einen im Beobachtungszeitraum zunehmend restriktiven Einsatz der GKCT bei pädiatrischen Patient*innen zu erklären. Zwar ist die Zahl pädiatrischer Fälle in dieser Arbeit begrenzt, doch ergaben sich auch in diesem Subkollektiv keine Nachteile durch die Nichtanwendung der AFS. Um diese Beobachtung im pädiatrischen Kollektiv zu bestätigen sind prospektive Studien mit größeren Fallzahlen erforderlich.

Zusammenfassend hat die AFS bei abdominell unauffälligen erwachsenen Patient*innen mit Polytrauma keinen relevanten diagnostischen Nutzen, sodass im Hinblick einer Ersparnis personeller, zeitlicher und finanzieller Ressourcen darauf verzichtet werden kann.

6. Literaturverzeichnis

- 1 Tscherne H, Trentz O. Mehrfachverletzungen BT - Chirurgie: Lehrbuch für Studierende der Medizin und Ärzte. In: Heberer G, Köle W, Tscherne H, eds. . Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1983: 655–8.
- 2 Pfeifer R, Pape H-C. Diagnostics and treatment strategies for multiple trauma patients. *Chirurg* 2016; **87**: 165.
- 3 H. Hinnenkamp, M. Lück, S. Brenscheidt. Unfallstatistik 2015. Unfalltote und Unfallverletzte 2015 in Deutschland. *Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin* 2017; : 0–1.
- 4 Committee on Emergency Medicine, Intensive Care and Trauma Management (Sektion NIS) of the German Trauma Society (DGU). TraumaRegister DGU® (TR-DGU) annual report 2019. 2020.
- 5 Muhm M, Danko T, Madler C, Winkler H. Präklinische Einschätzung der Verletzungsschwere durch Notärzte. Ansatz zur Beurteilung der Verlässlichkeit. *Anaesthesist* 2011; **60**: 534–40.
- 6 Loftis KL, Price J, Gillich PJ. Evolution of the Abbreviated Injury Scale: 1990–2015. *Traffic Inj Prev* 2018; **19**: S109–13.
- 7 Donnelly PD, Ward CL. Oxford textbook of violence prevention: Epidemiology, evidence, and policy. Oxford Textbooks in Public Hea, 2015.
- 8 Baker SP, O'Neill B, Haddon WJ, Long WB. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J Trauma* 1974; **14**: 187–96.
- 9 Linn S. The injury severity score-Importance and uses. *Ann Epidemiol* 1995; **5**: 440–6.
- 10 Pape HC, Lefering R, Butcher N, *et al.* The definition of polytrauma revisited: An international consensus process and proposal of the new 'Berlin definition'. *J Trauma Acute Care Surg* 2014; **77**: 780–6.
- 11 Osler T, Baker SP, Long W. A Modification of the Injury Severity Score That Both Improves Accuracy and Simplifies Scoring. *J Trauma Acute Care Surg* 1997; **43**.
- 12 Tay SY, Sloan EP, Zun L, Zaret P. Comparison of the New Injury Severity Score and the Injury Severity Score. *J Trauma - Inj Infect Crit Care* 2004; **56**: 162–4.
- 13 Teasdale G, Jennett B. Assessment of coma and impaired consciousness: A Practical Scale. *Lancet* 1974; **304**: 81–4.
- 14 Teasdale G, Maas A, Lecky F, Manley G, Stocchetti N, Murray G. The Glasgow Coma Scale at 40 years: Standing the test of time. *Lancet Neurol* 2014; **13**: 844–54.
- 15 Gentleman D, Dearden M, Midgley S, Maclean D. Guidelines for resuscitation and transfer of patients with serious head injury. *Br Med J* 1993; **307**: 547–52.
- 16 Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie. S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung (AWMF Registernummer 187-023), Version 4.0 (31.12.2022), verfügbar unter

<https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/187-023.html>. Zugriff am 07.05.2025.

- 17 Bouillon B, Kanz KG, Lackner CK, Mutschler W, Sturm J. Die bedeutung des Advanced Trauma Life Support® (ATLS®) im Schockraum. *Unfallchirurg* 2004; **107**: 844–50.
- 18 Ahvenjärvi L, Mattila L, Ojala R, Tervonen O. Value of multidetector computed tomography in assessing blunt multitrauma patients. *Acta radiol* 2005; **46**: 177–83.
- 19 Enderson BL, Reath DB, Meadors J, Dallas W, DeBoo JM, Maull KI. The tertiary trauma survey: a prospective study of missed injury. *J Trauma* 1990; **30**: 666–70.
- 20 Montoya J, Stawicki SP, Evans DC, *et al.* From FAST to E-FAST: an overview of the evolution of ultrasound-based traumatic injury assessment. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2016; **42**: 119–26.
- 21 Yoshii H, Sato M, Yamamoto S, *et al.* Usefulness and limitations of ultrasonography in the initial evaluation of blunt abdominal trauma. *J Trauma* 1998; **45**: 41–5.
- 22 Aldrich JE. Basic physics of ultrasound imaging. *Crit Care Med* 2007; **35**: 131–7.
- 23 Abu-Zidan FM, Hefny AF, Corr P. Clinical ultrasound physics. *J Emerg Trauma Shock* 2011; **4**: 501–3.
- 24 De Luca R, Dattoma T, Forzoni L, Bamber J, Palchetti P, Gubbini A. Diagnostic ultrasound probes: A typology and overview of technologies. *Curr Dir Biomed Eng* 2018; **4**: 49–53.
- 25 Richards JR, McGahan JP. Focused assessment with sonography in trauma (FAST) in 2017: What radiologists can learn. *Radiology* 2017; **283**: 30–48.
- 26 Jaspers N, Holzapfel B, Kasper P. Abdominal ultrasound in emergency and critical care medicine. *Medizinische Klin - Intensivmed und Notfallmedizin* 2019; **114**: 509–18.
- 27 Von Kuenssberg Jehle D, Stiller G, Wagner D. Sensitivity in detecting free intraperitoneal fluid with the pelvic views of the FAST exam. *Am J Emerg Med* 2003; **21**: 476–8.
- 28 McGahan JP, Rose J, Coates TL, Wisner DH, Newberry P. Use of ultrasonography in the patient with acute abdominal trauma. *J ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med* 1997; **16**: 653–4.
- 29 Shanmuganathan K, Mirvis SE, Sherbourne CD, Chiu WC, Rodriguez A. Hemoperitoneum as the sole indicator of abdominal visceral injuries: a potential limitation of screening abdominal US for trauma. *Radiology* 1999; **212**: 423–30.
- 30 Miller MT, Pasquale MD, Bromberg WJ, Wasser TE, Cox J. Not so FAST. *J Trauma* 2003; **54**: 52–60.
- 31 Carter JW, Falco MH, Chopko MS, Flynn WJ, Wiles CE, Guo WA. Do we really rely on fast for decision-making in the management of blunt abdominal trauma? *Injury* 2015; **46**: 817–21.
- 32 De Luca C, Valentino M, Rimondi MR, Branchini M, Baleni MC, Barozzi L. Use of chest

- sonography in acute-care radiology. *J Ultrasound* 2008; **11**: 125–34.
- 33 Husain LF, Hagopian L, Wayman D, Baker WE, Carmody KA. Sonographic diagnosis of pneumothorax. *J Emerg Trauma Shock* 2012; **5**: 76–81.
 - 34 Gargani L. Lung ultrasound: A new tool for the cardiologist. *Cardiovasc Ultrasound* 2011; **9**: 6.
 - 35 Wilkerson RG, Stone MB. Sensitivity of bedside ultrasound and supine anteroposterior chest radiographs for the identification of pneumothorax after blunt trauma. *Acad Emerg Med* 2010; **17**: 11–7.
 - 36 Huber-Wagner S, Mand C, Ruchholtz S, *et al.* Effect of the localisation of the CT scanner during trauma resuscitation on survival-a retrospective, multicentre study. *Injury* 2014; **45**: S76–82.
 - 37 Stengel D, Ottersbach C, Matthes G, *et al.* Accuracy of single-pass whole-body computed tomography for detection of injuries in patients with major blunt trauma. *Cmaj* 2012; **184**: 869–76.
 - 38 Protokollempfehlungen der AG Bildgebende Verfahren des Bewegungsapparats (AG BVB) zur Ganzkörper-CT mehrfach verletzter bzw. polytraumatisierter Patienten. *Rofo* 2017; **189**: 1002–6.
 - 39 Karlo C, Gnannt R, Frauenfelder T, *et al.* Whole-body CT in polytrauma patients: Effect of arm positioning on thoracic and abdominal image quality. *Emerg Radiol* 2011; **18**: 285–93.
 - 40 Hickethier T, Mammadov K, Baeßler B, *et al.* Whole-body computed tomography in trauma patients: Optimization of the patient scanning position significantly shortens examination time while maintaining diagnostic image quality. *Ther Clin Risk Manag* 2018; **14**: 849–59.
 - 41 Gäble A, Hebebrand J, Armbruster M, *et al.* Update polytrauma and computed tomography in ongoing resuscitation: ABCDE and “diagnose first what kills first”. *Radiologe* 2020; **60**: 247–57.
 - 42 Jeavons C, Hacking C, Beenen LF, Gunn ML. A review of split-bolus single-pass CT in the assessment of trauma patients. *Emerg Radiol* 2018; **25**: 367–74.
 - 43 Beenen LFM, Sierink JC, Kolkman S, *et al.* Split bolus technique in polytrauma: A prospective study on scan protocols for trauma analysis. *Acta radiol* 2015; **56**: 873–80.
 - 44 Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie. S3-Leitlinie Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung (AWMF Register-Nr. 012/019), verfügbar unter <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/187-023>. Zugriff am 07.05.2025. 2016.
 - 45 Peytel E, Menegaux F, Cluzel P, Langeron O, Coriat P, Riou B. Initial imaging assessment of severe blunt trauma. *Intensive Care Med* 2001; **27**: 1756–61.
 - 46 Kumar Y, Hayashi D. Role of magnetic resonance imaging in acute spinal trauma: A pictorial review. *BMC Musculoskelet Disord* 2016; **17**: 1–11.
 - 47 Elnur Mehdi, Ayse Aralasmak, Huseyin Toprak, Seyma Yıldız, Serpil Kurtcan, Mehmet Kolukisa TA and AA. Craniocervical dissections: Radiologic findings, pitfalls, mimicking diseases: A

pictorial review. 2018; : 207–22.

- 48 Provenzale JM, Sarikaya B. Comparison of test performance characteristics of MRI, MR angiography, and CT angiography in the diagnosis of carotid and vertebral artery dissection: A review of the medical literature. *Am J Roentgenol* 2009; **193**: 1167–74.
- 49 Armbruster M, Wirth S, Seidensticker M. Interventional radiology as emergency therapy. *Radiologe* 2020; **60**: 258–68.
- 50 Roudsari BS, Psoter KJ, Padia SA, Kogut MJ, Kwan SW. Utilization of angiography and embolization for abdominopelvic trauma: 14 years' experience at a level I trauma center. *AJR Am J Roentgenol* 2014; **202**: W580–5.
- 51 Pfeifer R, Tarkin IS, Rocos B, Pape HC. Patterns of mortality and causes of death in polytrauma patients-Has anything changed? *Injury* 2009; **40**: 907–11.
- 52 Maegele M, Lefering R, Sakowitz O, *et al.* Inzidenz und Versorgung des mittelschweren bis schweren Schädel-Hirn-Traumas. *Dtsch Arztebl Int* 2019; **116**: 167–73.
- 53 Galgano M, Toshkezi G, Qiu X, Russell T, Chin L, Zhao L-R. Traumatic brain injury: Current treatment strategies and future endeavors. *Cell Transplant* 2017; **26**: 1118–30.
- 54 Maas AIR, Menon DK, David Adelson PD, *et al.* Traumatic brain injury: Integrated approaches to improve prevention, clinical care, and research. *Lancet Neurol* 2017; **16**: 987–1048.
- 55 Hagebusch P, Pingel A, Kandziora F, Hoffmann R, Schweigkofler U. Das Schädel-Hirn-Trauma im Erwachsenenalter. *Notfallmedizin up2date* 2020; **15**: 59–74.
- 56 Kavalci C, Aksel G, Salt O, *et al.* Comparison of the Canadian CT head rule and the new orleans criteria in patients with minor head injury. *World J Emerg Surg* 2014; **9**: 1511–8.
- 57 Taha A, Gan YC, Chavda S V., Wasserberg J. A review of base of skull fractures. *Trauma* 2007; **9**: 29–37.
- 58 Ringl H, Schernthaner RE, Schueller G, *et al.* The skull unfolded: A cranial CT visualization algorithm for fast and easy detection of skull fractures. *Radiology* 2010; **255**: 553–62.
- 59 Geisler FH, Rodriguez E, Manson PN. Traumatic skull and facial fractures, Third Edit. Elsevier, 2012 DOI:10.1016/B978-1-4377-0701-4.00022-1.
- 60 Khoshyomn S, Tranmer BI. Diagnosis and Management of Pediatric Closed Head Injury. *Semin Pediatr Surg* 2004; **13**: 80–6.
- 61 Houseman CM, Belverud SA, Narayan RK. Closed head injury, Third Edit. Elsevier, 2012 DOI:10.1016/B978-1-4377-0701-4.00020-8.
- 62 Armin SS, Colohan ART, Zhang JH. Traumatic subarachnoid hemorrhage: Our current understanding and its evolution over the past half century. *Neurol Res* 2006; **28**: 445–52.
- 63 Crooks DA. Pathogenesis and biomechanics of traumatic intracranial haemorrhages. *Virchows Arch A Pathol Anat Histopathol* 1991; **418**: 479–83.

- 64 Bouzat P, Raux M, David JS, *et al.* Chest trauma: First 48 hours management. *Anaesth Crit Care Pain Med* 2017; **36**: 135–45.
- 65 Kulshrestha P, Munshi I, Wait R. Profile of chest trauma in a Level I trauma center. *J Trauma - Inj Infect Crit Care* 2004; **57**: 576–81.
- 66 Leite L, Gonçalves L, Nuno Vieira D. Cardiac injuries caused by trauma: Review and case reports. *J Forensic Leg Med* 2017; **52**: 30–4.
- 67 Hackl S, Berninger M, Erichsen C, Lang M, Woltmann A. Sternumfrakturen – Rippenfrakturen. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 2018; **13**: 571–92.
- 68 Pettiford BL, Luketich JD, Landreneau RJ. The Management of Flail Chest. *Thorac Surg Clin* 2007; **17**: 25–33.
- 69 Keinert T, Frech T, Henn-Beilharz A. Thoraxtrauma: Von der präklinischen Versorgung bis in den Schockraum. *Retten!* 2018; **7**: 276–85.
- 70 Sharma A, Jindal P. Principles of diagnosis and management of traumatic pneumothorax. *J Emerg Trauma Shock* 2008; **1**: 34–41.
- 71 Zeiler J, Idell S, Norwood S, Cook A, Health R. Hemothorax : A Review of the Literature. 2021; **27**: 1–12.
- 72 Mühling B. Stumpfes und penetrierendes Thoraxtrauma. *Chirurg* 2017; **88**: 807–16.
- 73 Kaewlai R, Avery LL, Asrani A V., Novelline RA. Multidetector CT of blunt thoracic trauma. *Radiographics* 2008; **28**: 1555–70.
- 74 Cohn SM. Pulmonary contusion: Review of the clinical entity. *J Trauma Acute Care Surg* 1997; **42**.
- 75 Dogrul BN, Kiliccalan I, Asci ES, Peker SC. Blunt trauma related chest wall and pulmonary injuries: An overview. *Chinese J Traumatol - English Ed* 2020; **23**: 125–38.
- 76 Ehrnthaller C, Flierl M, Perl M, *et al.* The molecular fingerprint of lung inflammation after blunt chest trauma. *Eur J Med Res* 2015; **20**: 1–9.
- 77 Simon B, Ebert J, Bokhari F, *et al.* Management of pulmonary contusion and flail chest: An eastern association for the surgery of trauma practice management guideline. *J Trauma Acute Care Surg* 2012; **73**. DOI:10.1097/TA.0b013e31827019fd.
- 78 Oppenheimer L, Craven KD, Forkert L, Wood LD. Pathophysiology of pulmonary contusion in dogs. *J Appl Physiol* 1979; **47**: 718–28.
- 79 Mizushima Y, Hiraide A, Shimazu T, Yoshioka T, Sugimoto H. Changes in contused lung volume and oxygenation in patients with pulmonary parenchymal injury after blunt chest trauma. *Am*

- J Emerg Med* 2000; **18**: 385–9.
- 80 Schulman CI, Carvajal D, Lopez PP, Soffer D, Habib F, Augenstein J. Incidence and crash mechanisms of aortic injury during the past decade. *J Trauma - Inj Infect Crit Care* 2007; **62**: 664–7.
 - 81 Teixeira PGR, Inaba K, Barmparas G, *et al.* Blunt thoracic aortic injuries: An autopsy study. *J Trauma - Inj Infect Crit Care* 2011; **70**: 197–202.
 - 82 Mouawad NJ, Paulisin J, Hofmeister S, Thomas MB. Blunt thoracic aortic injury - Concepts and management. *J Cardiothorac Surg* 2020; **15**: 1–8.
 - 83 De Mestral C, Dueck A, Sharma SS, *et al.* Evolution of the incidence, management, and mortality of blunt thoracic aortic injury: A population-based analysis. *J Am Coll Surg* 2013; **216**: 1110–5.
 - 84 Stemper BD, Yoganandan N, Pintar FA, Brasel KJ. Multiple subfailures characterize blunt aortic injury. *J Trauma - Inj Infect Crit Care* 2007; **62**: 1171–4.
 - 85 Pearson R, Philips N, Hancock R, *et al.* Regional wall mechanics and blunt traumatic aortic rupture at the isthmus. *Eur J cardio-thoracic Surg Off J Eur Assoc Cardio-thoracic Surg* 2008; **34**: 616–22.
 - 86 Akhmerov A, DuBose J, Azizzadeh A. Blunt Thoracic Aortic Injury: Current Therapies, Outcomes, and Challenges. *Ann Vasc Dis* 2019; **12**: 1–5.
 - 87 Prêtre R, Chilcott M. Blunt trauma to the heart and great vessels. *N Engl J Med* 1997; **336**: 626–32.
 - 88 Lee WA, Matsumura JS, Mitchell RS, *et al.* Endovascular repair of traumatic thoracic aortic injury: Clinical practice guidelines of the Society for Vascular Surgery. *J Vasc Surg* 2011; **53**: 187–92.
 - 89 Stephan K, Huber S, Häberle S, *et al.* Spinal cord injury - Incidence, prognosis, and outcome: An analysis of the TraumaRegister DGU. *Spine J* 2015; **15**: 1994–2001.
 - 90 Bühren V. Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Unfallchirurg* 2003; **106**: 55–69.
 - 91 Franke A, Bieler D, Münzberg M, Kollig E. Wirbelsäulenverletzungen – Von der Präklinik bis zum Schockraum. *Der Notarzt* 2016; **32**: 76–86.
 - 92 Kandziora F, Schnake K, Hoffmann R. Verletzungen der oberen Halswirbelsäule: Teil 1: Ligamentäre Verletzungen. *Unfallchirurg* 2010; **113**: 931–41.
 - 93 Vaccaro AR, Oner C, Kepler CK, *et al.* AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: Fracture description, neurological status, and key modifiers. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013; **38**: 2028–37.
 - 94 Gehweiler JA, Osborne RL, Becker RF. The Radiology of Vertebral Trauma. Saunders, 1980 <https://books.google.de/books?id=pWZsAAAAMAAJ>.

- 95 Anderson LD, D'Alonzo RT. Fractures of the odontoid process of the axis. *J Bone Joint Surg Am* 1974; **56**: 1663–74.
- 96 Pothmann CEM, Sprengel K, Alkadhi H, *et al.* Abdominalverletzungen des polytraumatisierten Erwachsenen: Systematischer Überblick. *Unfallchirurg* 2018; **121**: 159–73.
- 97 Soto JA, Anderson SW. Multidetector CT of blunt abdominal trauma. *Radiology* 2012; **265**: 678–93.
- 98 Roy P, Mukherjee R, Parik M. Splenic trauma in the twenty-first century: Changing trends in management. *Ann R Coll Surg Engl* 2018; **100**: 650–6.
- 99 Coccolini F, Coimbra R, Ordonez C, *et al.* Liver trauma: WSES 2020 guidelines. *World J Emerg Surg* 2020; **15**: 24.
- 100 Coccolini F, Montori G, Catena F, *et al.* Splenic trauma: WSES classification and guidelines for adult and pediatric patients. *World J Emerg Surg* 2017; **12**: 1–26.
- 101 Luu S, Spelman D, Woolley IJ. Post-splenectomy sepsis: Preventative strategies, challenges, and solutions. *Infect Drug Resist* 2019; **12**: 2839–51.
- 102 Renzulli P, Gross T, Schnüriger B, *et al.* Management of blunt injuries to the spleen. *Br J Surg* 2010; **97**: 1696–703.
- 103 Costi R, Castro Ruiz C, Romboli A, Wind P, Violi V, Zarzavadjian Le Bian A. Partial splenectomy: Who, when and how. A systematic review of the 2130 published cases. *J Pediatr Surg* 2019; **54**: 1527–38.
- 104 Sedik A, AlRashed F, AlDawoodi T, ElSayed M, Elhoushy S. Delayed splenic rupture: A case report and literature review. *J Curr Surg* 2017; **7**: 42–4.
- 105 Erlich T, Kitrey ND. Renal trauma: the current best practice. *Ther Adv Urol* 2018; **10**: 295–303.
- 106 Ayoob AR, Lee JT, Herr K, *et al.* Pancreatic trauma: Imaging review and management update. *RadioGraphics* 2020; **41**: 58–74.
- 107 Iaselli F, Mazzei MA, Firetto C, *et al.* Bowel and mesenteric injuries from blunt abdominal trauma: a review. *Radiol Medica* 2015; **120**: 21–32.
- 108 Bège T, Brunet C, Berdah S V. Hollow viscus injury due to blunt trauma: A review. *J Visc Surg* 2016; **153**: 61–8.
- 109 Hilbert-Carius P, Wurmb T, Lier H, *et al.* Versorgung von Schwerverletzten: Update der S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung 2016. *Anaesthesist* 2017; **66**: 195–206.
- 110 Lichtenstein T, Chang DH, Sokolowski M, *et al.* Diagnostic value of abdominal follow-up sonography in polytrauma patients: A retrospective study. *Med (United States)* 2020; **99**. DOI:10.1097/MD.00000000000022412.
- 111 Körner M, Krötz MM, Degenhart C, Pfeifer K-J, Reiser MF, Linsenmaier U. Current role of

- emergency US in patients with major trauma. *Radiographics* 2008; **28**: 225–42.
- 112 Geyer LL, Körner M, Reiser M, Linsenmaier U. Aktueller Stellenwert der konventionellen Radiographie und Sonographie in der frühen Versorgung traumatisierter Patienten. *Notfall und Rettungsmedizin* 2010; **13**: 428–35.
- 113 Wilson EB. Probable inference, the law of succession, and statistical inference. *J Am Stat Assoc* 1927; **22**: 209–12.
- 114 Huber-Wagner S, Biberthaler P, Häberle S, *et al.* Whole-Body CT in haemodynamically unstable severely injured patients - A retrospective, multicentre study. *PLoS One* 2013; **8**. DOI:10.1371/journal.pone.0068880.
- 115 Livingston DH, Lavery RF, Passannante MR, *et al.* Admission or observation is not necessary after a negative abdominal computed tomographic scan in patients with suspected blunt abdominal trauma: Results of a prospective, multi-institutional trial. *J Trauma Acute Care Surg* 1998; **44**.
- 116 Maurer MH, Winkler A, Wichlas F, *et al.* Kosten und Stellenwert von Ultraschallverlaufskontrollen bei polytraumatisierten Patienten nach initialer Computertomografie. *RoFo Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Bildgeb Verfahren* 2012; **184**: 53–8.
- 117 Geyer LL, Körner M, Linsenmaier U, Wirth S, Reiser MF, Meindl T. The role of follow-up ultrasound and clinical parameters after abdominal mdct in patients with multiple trauma. *Acta radiol* 2014; **55**: 486–94.
- 118 Fang JF, Wong YC, Lin BC, Hsu YP, Chen MF. Usefulness of multidetector computed tomography for the initial assessment of blunt abdominal trauma patients. *World J Surg* 2006; **30**: 176–82.
- 119 Schneck E, Koch C, Borgards M, *et al.* Impact of abdominal follow-up sonography in trauma patients without abdominal parenchymal organ lesion or free intraabdominal fluid in whole-body computed tomography. *RoFo Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Bildgeb Verfahren* 2017; **189**: 128–36.
- 120 Yu J, Fulcher AS, Wang D Bin, *et al.* Frequency and importance of small amount of isolated pelvic free fluid detected with multidetector CT in male patients with blunt trauma. *Radiology* 2010; **256**: 799–805.
- 121 Brasel KJ, Olson CJ, Stafford RE, Johnson TJ. Incidence and significance of free fluid on abdominal computed tomographic scan in blunt trauma. *J Trauma* 1998; **44**: 889–92.
- 122 Donnez J, Langerock S, Thomas K. Peritoneal fluid volume and 17 beta-estradiol and progesterone concentrations in ovulatory, anovulatory, and postmenopausal women. *Obstet*

- Gynecol* 1982; **59**: 687–92.
- 123 Koninckx PR, Renaer M, Brosens IA. Origin of peritoneal fluid in women: an ovarian exudation product. *Br J Obstet Gynaecol* 1980; **87**: 177–83.
 - 124 Davis JA, Gosink BB. Fluid in the female pelvis: cyclic patterns. *J ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med* 1986; **5**: 75–9.
 - 125 Ormsby EL, Geng J, McGahan JP, Richards JR. Pelvic free fluid: Clinical importance for reproductive age women with blunt abdominal trauma. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; **26**: 271–8.
 - 126 Rathaus V, Grunebaum M, Konen O, *et al.* Minimal pelvic fluid in asymptomatic children. *J Ultrasound Med* 2003; **22**: 13–7.
 - 127 Brown SE, Dubbins PA. Detection of free intraperitoneal fluid in healthy young men. *J Ultrasound Med* 2012; **31**: 1527–30.
 - 128 Slater NJ, Raftery AT, Cope GH. The ultrastructure of human abdominal mesothelium. *J Anat* 1989; **167**: 47–56.
 - 129 Dobbie JW. New concepts in molecular biology and ultrastructural pathology of the peritoneum: their significance for peritoneal dialysis. *Am J kidney Dis Off J Natl Kidney Found* 1990; **15**: 97–109.
 - 130 Bernhard M, Trautwein S, Stepan R, Zahn P, Greim CA, Gries A. Notärztliche Einschätzung der klinischen Weiterversorgung von Notfallpatienten. *Anaesthesist* 2014; **63**: 394–400.
 - 131 Fröhlich M, Lefering R, Probst C, *et al.* Committee on Emergency Medicine, Intensive Care and Trauma Management of the German Trauma Society Sektion NIS. Epidemiology and risk factors of multiple-organ failure after multiple trauma: an analysis of 31,154 patients from the TraumaRegister DGU. *J Trauma Acute Care Surg* 2014; **76**: 921–8.

7. Anhang

7.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Standardschnitte bei der FAST; Normalbefunde in der linken Spalte, pathologische Befunde in der rechten Spalte ²⁶	18
Abbildung 2:	A. Schematische M-Mode Darstellung der anliegenden, beweglichen Pleura visceralis, sog. „Seashore-Sign“. B. „Barcode-Sign“ bei Pneumothorax. C. Grenzbereich eines Pneumothorax („Lung point“), an dem sich beide Anteile der Pleura wieder treffen ³⁴	19
Abbildung 3:	Protokollempfehlungen der AG Bildgebende Verfahren des Bewegungsapparats zur Ganzkörper-CT mehrfach verletzter bzw. polytraumatisierter Patient*innen ³⁸	22
Abbildung 4:	Transversale CT-Untersuchung des Oberbauchs mit Kontrastmittel als „Split-Bolus“. Gleichzeitige arterielle Angiographie und Kontrastierung der Bauchorgane in portalvenöser Phase ⁴²	24
Abbildung 5:	Schädelbasisfraktur unter Beteiligung der linken Okzipitalkondyle.....	28
Abbildung 6:	Zerebrale Kontusionsblutungen frontobasal in typischer Lokalisation.....	29
Abbildung 7:	Epidurales Hämatom rechts parietal mit begleitender Kalottenfraktur.....	30
Abbildung 8:	Subarachnoidalblutung.	30
Abbildung 9:	Dislozierte Rippenfraktur links.	32
Abbildung 10:	Schmaler Pneumothorax links mit Lungenkontusionen und Hämatothorax.	33
Abbildung 11:	Schweres Thoraxtrauma mit Spannungspneumothorax rechts und multiplen Lungenlazerationen.....	34
Abbildung 12:	Langstreckiges intramurales Hämatom der thorakalen Aorta. Links: In der nativen CT-Untersuchung erkennt man das hyperdense Wandhämatom. Rechts: Erst in der CTA lässt sich das Gefäßlumen beurteilen.	35
Abbildung 13:	Leberlazeration Grad IV nach der „American Association for the Surgery of Trauma - Organ Injury Scale“ (AAST-OIS).....	38
Abbildung 14:	Milzlazeration Grad III nach der „American Association for the Surgery of Trauma - Organ Injury Scale“ (AAST-OIS).....	39

7.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: „Abbreviated Injury Scale Codes (AIS-Codes)“ für die verletzte Körperregion....	10
Tabelle 2: „Abbreviated Injury Scale Codes (AIS-Codes)“ für die Verletzungsschwere.....	11
Tabelle 3: „Glasgow Coma Scale“ (GCS).....	13
Tabelle 4: Obligate und fakultative Indikationen für die craniale Computertomographie (cCT) beim Polytrauma des Kindes.	26
Tabelle 5: Schweregrade des Schädel-Hirn-Traumas. Die Einteilung erfolgt mittels „Glasgow Coma Scale“ (GCS).....	27
Tabelle 6: Häufigkeit der Verletzungen beim Schädel-Hirn-Trauma.....	27
Tabelle 7: Häufigkeit der Verletzungen beim Thoraxtrauma.	31
Tabelle 8: Schweregrade von Leberverletzungen der „American Association for the Surgery of Trauma“(AAST)	37
Tabelle 9: Schweregrade von Milzverletzungen nach der „American Association for the Surgery of Trauma - Organ Injury Scale“ (AAST-OIS).	39
Tabelle 10: Studienkollektiv inklusive klinischer Parameter.	46
Tabelle 11: Todesursachen.....	46
Tabelle 12: Unfallursachen der Patientenkollektive aus Gruppe A und B. Vergleich mit Daten des Deutschen Traumaregisters (DTR) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU)	48
Tabelle 13: Extraabdominelle Verletzungsfolgen der Patientenkollektive aus Gruppe A und B. Vergleich mit Daten des Deutschen Traumaregisters (DTR) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU).	49

8. Vorabveröffentlichungen von Ergebnissen

Lichtenstein T, Chang DH, Sokolowski M, et al. Diagnostic value of abdominal follow-up sonography in polytrauma patients: A retrospective study. Med (United States) 2020; 99. DOI:10.1097/MD.00000000000022412.